

ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

А. Игнатов

член Коллегии национальных экспертов
стран СНГ по лазерам и лазерным
технологиям 2005–2017 гг.
ООО «ЛазерИнформСервис»
Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: laseris-spbo@yandex.ru

ВОЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ. ИСТОРИЯ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ В СИСТЕМАХ ПРО

Лазеры в системах вооружения становятся реальностью и имеют в ближайшие годы хорошие перспективы не только в системах наведения ракет и снарядов, ослепления противника и системах ПВО и ПРО, но и в перспективных системах связи, передачи информации и энергии, в системах РЭБ, в компьютерах и приборах нового поколения. Еще недавно казалось нереальным получать в длительном режиме мощное лазерное излучение и преодолевать расходимость лазерного пучка, фокусировать его на расстоянии в десятки, а тем более – в сотни и тысячи метров – в пятно с плотностью $\geq 10^6-10^7$ Вт/см², необходимой для расплавления и испарения металлов, разрушения сверхпрочных покрытий и материалов.

Ключевые слова: лазер; вооружение; ПВО; ПРО.

A. Ignatov

Member of the Board of national experts
of the CIS countries on Lasers and Laser
Technologies 2005-2017 years
LaserInformService
St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: laseris-spbo@yandex.ru

MILITARY APPLICATIONS OF LASER TECHNOLOGY. HISTORY, CURRENT STATE AND PROSPECTS OF LASER APPLICATIONS IN MISSILE DEFENSE SYSTEMS

Lasers in weapons systems are becoming a reality and have in the coming years are good prospects not only in the guidance rockets and missiles systems, blinding the enemy air and missile defense systems, but also in advanced communication systems, communication and energy, electronic warfare systems, computers and devices new generation. Until recently it seemed unreal to get in a long time a powerful laser radiation and to overcome the divergence of the laser beam to focus it at a distance of tens, and even more so – in the hundreds or thousands of meters – in a spot with a density $\geq 10^6-10^7$ W/cm² required to melt and metal evaporation, the destruction of heavy-duty coatings and materials.

Keywords: laser; weapons; air defense; ABM.

Современная военно-политическая обстановка и тенденции ее развития. Противостояние с США. Актуальность и необходимость разработки новых видов вооружения.

США ведут «опасную игру» у российских границ, поставляя оружие Украине и размещая ядерные бомбы в Европе – отмечает Washington Post. Президент Барак Обама поручил разместить в Европе 200 новейших ядерных бомб

(а завтра могут быть сотни и тысячи не только бомб, но и ракет!), а Пентагон может потратить триллион долларов на модернизацию ядерных вооружений. Вина за обострение ситуации лежит по большей части на США, пишет автор статьи. Причина – настойчивое расширение НАТО вопреки данному России обещанию не угрожать сфере ее влияния [1]. По мнению Джулиана Ассанжа, Соединенные Штаты ни в коей мере нельзя недооценивать – никакая другая страна в мире и близко не имеет столько

военных баз – более 1 400 (по другим данным – 700 баз за рубежом и 6 000 в США – <http://dokumentika.org/>) в 120–130 странах мира, в то время как у России за рубежом их только, по разным данным: 12–25 и, в основном у своих границ, на территории бывших республик СССР, в том числе: РЛС системы ПРО для обеспечения собственной безопасности.

«Относительный» паритет США и СССР, сохранявшийся ранее, до Перестройки – нарушен. Сегодня «смешным и грустным» кажется Карибский кризис из-за размещения советских ракет на Кубе и американских ракет в Турции, когда сегодня американские войска «расквартированы» (и их союзники) не только в странах НАТО, а и в странах Восточной Европы, Варшавского Договора, и даже в бывших странах СССР – в Прибалтике, в том числе с ядерным оружием. Россия окружена базами США и их союзников с практически «нулевым» подлетным временем до ее территории. Трудно представить, что будет, если США почувствуют себя в значительной мере неуязвимыми, имея сегодня и так весьма существенное – территориальное, военное и экономическое преимущество. Если вспомнить историю – результаты Перестройки и войны США с Японией, Вьетнамом, на Ближнем Востоке в Ираке и Ливии, с Югославией, «хозяйское» поведение США на Украине, наплевательское отношение к судьбе других народов и гражданского населения – россиянам не стоит рассчитывать на великодушие и «милость» победителя.

Возникает нехорошая аналогия. В начале 1941 г., включая июнь – Германия сосредотачивала войска, танки и авиацию у границы СССР. А у нас, как теперь стало известно, накануне 22 июня в некоторых частях сливали бензин из самолетов, снимали боекомплекты и были не готовы к наступлению фашистов. Сегодня же опять у наших границ сосредотачиваются огромные военные ресурсы, сотни ракет и самолетов находятся у границ вокруг России, не говоря о тысячах стратегических ракет в США нацеленных на наши города. Что произойдет при внезапном нападении на Россию? Повторение 41-го года? Во многом можно согласиться с военным историком Леонидом

Ивашовым в фильме Игоря Прокопенко «Военная тайна», в том числе с оценкой концепции США «Глобальный удар», системы ПРО США состоящей из 3-х эшелонов. Вопрос только – будет ли первый удар по России ядерным или ядерным, с корректировкой названной концепции? Нельзя переоценивать свои возможности, в том числе по ответному удару. Ответный удар может быть ослабленным и может уже мало что решать, хотя, конечно – его возможность пока сдерживает от нападения. Но может быть поздно для большинства россиян. Правда, чукчи и другие северные народы, наверное, выживут. Не зря же уже сегодня некоторые американцы переселяются в Сибирь. И еще – сегодня экономическая и социальная обстановка (с серьезным обнищанием основной массы населения), обстановка со СМИ – российским руководством, по-моему, мягко говоря переоценивается, не произойдет ли это и с переоценкой военной ситуации?

Нельзя допустить повторения 41-го года. Уроки известны. Надо изучать и заучивать.

Только военный паритет России и США может исключить «горячее» противостояние. Ударить первым – тысячами ракет и самолетов, ликвидировать российские спутники, командные пункты и стратегические объекты, нарушить связь – ведь очень заманчиво, прикрываясь системой ПРО /ПВО и «подставляя» союзников в Европе, а с оставшимися десятками российских самолетов и подводных лодок, кораблей может быть удастся справиться с минимальным для США ущербом...???!!! Тот, кто нанесет удар первым – может иметь значительное, если не определяющее – стратегическое и тактическое преимущество. Ущерб противостоящих сторон может быть несопоставимым. Вопрос – сколько сегодня наших ядерных боеголовок долетят до США и взорвутся? Если мы ударим первыми, а если вторыми? И наоборот – сколько взорвутся над Россией, если США ударят первыми / вторыми? Может прав Путин, пошутивший на счет «дворового» правила в Питере – «если драка неизбежна – бей первым»?

Правда, остается возможность США реализовать более вероятный и наиболее интересный, более предпочтительный – почти

«бескровный», более дешевый и даже более «гуманный» и выигрышный вариант – «цветной» революции в России, по примеру украинского и других стран. После «перестройки», в 90-х годах больше половины россиян стали нищими, а сегодня все возвращается туда же, к 2000 г. уже «докатились». В случае успеха «цветного переворота» нищими станут ~90 % россиян (сегодня $\geq 50\%$), а определенная часть (до 20–30 %) может быть уничтожена в порядке гражданского противостояния – более масштабного, чем на Украине.

Для исключения данного варианта – необходимо улучшить экономическую ситуацию и уменьшить социальное расслоение населения (достигшего сегодня сумасшедшего разрыва), исключить разлагающее и достаточно эффективное использование противником СМИ, в том числе телевидения и Интернета, агрессивной и воинствующей оппозиции, а также агентуры и «агентов влияния» противника, вербовки российского руководства (на разных уровнях), в том числе военного. Это достаточно дешевый и эффективный способ нейтрализации противника (по сравнению с военными действиями) и сведения на «нет» его военно-технического и научного потенциала. Во время «перестройки» Россия – «открылась» и до сегодняшнего дня в открытых СМИ активно публикуются данные о предприятиях ВПК, главных конструкторах, руководстве и ведущих специалистах ВПК, а на ключевых постах в российском Правительстве, Финансах и Экономике, Науке, СМИ – находятся специалисты, для которых важнее всего уничтожить все «советское», пусть и за счет уничтожения промышленности и самой России. Интересно, что будет в России и с мировой экономикой сегодня, если цена упадет до 8–30 \$/баррель, как это было в 1986–1998 гг.? (рис. 1). Одной из сопутствующих причин крушения СССР и СЭВ, наверное, можно считать и эту, когда доля нефти в ВВП СССР с 70-х годов до 80-х увеличилась с ~15 до 50 %. Эта ситуация и динамика цен 1986–1998 гг. очень напоминает сегодняшнюю ситуацию на рынке нефти, правда менее растянутую по времени – которая существенно влияет на экономику и политику

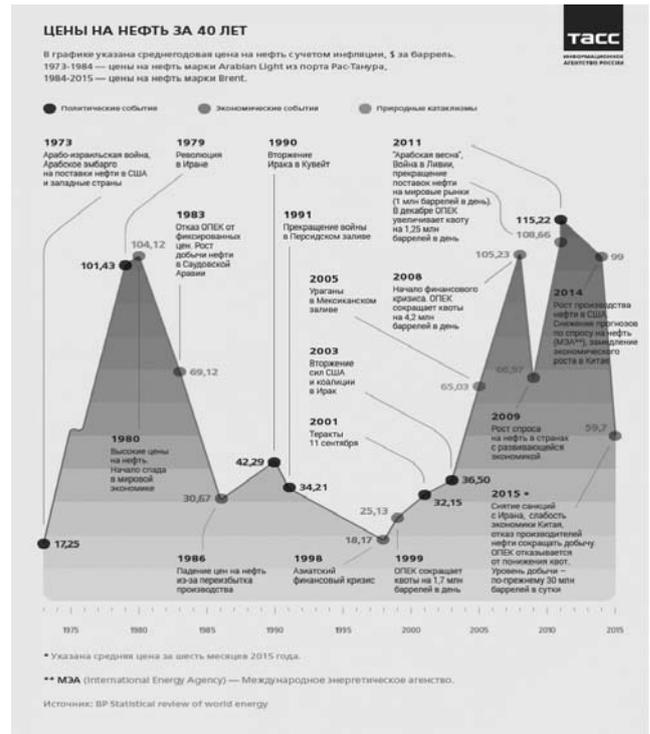


Рис. 1. Стоимость нефти за 40 лет по данным ТАСС

и, косвенно, на военную обстановку и состояние рынка вооружений.

Есть и похоже уже успешно реализуется очень эффективный путь – на порядок более дешевый, чем воевать – действовать по методу «купить» оппонента, не получится – «отодвинуть/задвинуть в сторону», а если тоже не пройдет – «уничтожить». Может быть этой тактике нам удастся противопоставить начинающую опять возникать симпатию к России граждан в различных странах мира и их работу (в том числе и безвозмездную) на российскую разведку, как это было в советское время?! Не зря же, по опубликованным данным, сегодня политику Абама не поддерживают ~70 % американцев и столько же поддерживают в Германии действия России и Путина в Сирии (а какие настроения будут там после встречи Нового 2016 г. и организованного нападения на женщин и полного бездействия полиции? Данная ситуация напоминает – бездействие Януковича на Майдане, когда начали жечь здания и полицейских, убивать людей. Увы, но демократичную и комфортную Европу – сегодня «добивают». Украинский Майдан приходит в Германию? Там закрывали глаза на то, что происходило на юго-востоке Украины, а теперь похожее уже происходит у них «дома».

Для России, хоть ее в начале 2016 г. и признали по силе и влиянию – 2-ой страной в мире и она по-прежнему занимает 2-е место по экспорту вооружений вслед за США, имеющими 36,2 млрд. долл. с приростом в 2014 г. – 36 %. Россия продала военной техники в 2014 г. ~ в 3 раза меньше: на 10,2 млрд. долл., чуть меньше, чем в 2013 г.

С учетом вышесказанного, острейшим образом встает поиск Россией «ассимметричных» мер в плане «противостояния» с «тяжеловесом», имеющим венный бюджет на порядок больше – путем создания соответствующих политических, организационных и экономических условий, создания международной военной и экономической коалиции, а в техническом плане – путем создания, производства и модернизации традиционных средств оружия массового поражения, в том числе ядерного, а также – новейших образцов вооружения – психотронного и климатического [2], плазменного [3, 4] и лазерного [5], магнитогидродинамических генераторов и высокочастотных излучателей РЭБ [6] – дистанционно, с максимальной степенью роботизации и минимальным участием человека непосредственно на поле боя - для обеспечения необходимого «паритета» с противниками, для исключения «безнаказанного» нападения агрессора.

Идея Рузвельта в 45-м о развитии сотрудничества и союзе США с Россией выглядит сегодня более чем актуально. Жаль, что Трумен и его приемники пошли другим путем – путем противостояния. Жаль, что несколько лет назад наметившееся тесное сотрудничество России со странами Евросоюза – было грамотно и эффективно перечеркнуто США и самой Европой.

Уважают и считаются с сильными и богатыми, и эта ситуация – не исключение.

России, чтобы выжить, чтобы БЫТЬ – надо быть сильным государством и богатым народом. И этот подход мог бы быть национальной идеей. А не утопическая идея «подъема экономики России за счет малого и среднего бизнеса», высказываемая сегодня известными «менеджерами». Для успешной деятельности малого бизнеса необходима мощная промышленность, отраслевая наука, «инновационные»

механизмы и атмосфера, как отчасти, например, в США. Какой % малых российских предприятий использует сегодня механизм инвестирования за счет продажи акций своих предприятий на биржах (а в США – давно и многие!)? Малым бизнесом в России, по данным статистики, сегодня хотят заниматься менее 3–5 %...т.е. не хотят – «отучили». В США инвестиционные и кредитные механизмы отлажены и хорошо работают, чего в России пока нет.

Политические, организационные и экономические аспекты – в приоритете, именно они определяют всю ситуацию. Военно-техническая сфера носит вспомогательную, подчиненную роль, хотя весьма необходимую и важную. И особенно – с учетом ближневосточного и европейского, а также наметившегося среднеазиатского и уже формирующегося сегодня – тихоокеанского кризисов, в разной степени переросших из политического противостояния в военное.

Победа СССР над фашистской Германией, обладавшей военной и экономической мощью всей Европы, выстоявшие «маленькие» Вьетнам и Афганистан, российский Бессмертный Полк 9 мая 2015 г., действия российской авиации и ВМФ в Сирии сегодня – дают надежду, что моральный дух, бесстрашие и желание «стоять до конца за свою землю и своих близких» – тоже материальны, позволяли и позволят России побеждать и выстоять в любых конфликтах.

Рассматриваемая тема является, по понятным причинам, весьма «закрытой» и в данном Обзоре приходится рассматривать только «открытую» и уже рассекреченную информацию из СМИ. Подробное рассмотрение технических аспектов сверхмощных лазеров возможно, скорее, на базе исторических материалов, из материалов уже допущенных к открытым публикациям, но сохраняющим свою актуальность и сегодня, особенно для широкого круга интересующихся читателей, не являющихся специалистами данного направления, но проявляющим интерес к истории и особенностям создания сверхмощных лазеров и системы ПРО. Специалисты же – прочитают между строк и сделают соответствующую «поправку», с учетом сегодняшних знаний

разработок и достижений, нового поколения лазерной и военной техники. Понятно также, что лазеры – не «панацея от всех» бед и есть альтернативные виды вооружений, которые не уступают, а в ряде случаев и имеют превосходство по эффективности и экономическим показателям (которые тоже приходится учитывать) – как говорится – «нужен молоток и кувалда». Разные виды вооружений должны дополнять друг друга, повышая общую надежность и эффективность, «закрывая все дыры» в системах ПРО/ПВО, например, как действует сегодня Израиль – необходимо развернуть ПВО и ПРО в несколько эшелонов.

Насколько мы видим по мероприятиям, проводимым в последнее время главнокомандующим В.В. Путиным и министром обороны С.К. Шойгу – есть достаточно хорошее понимание реальной опасности и, будем надеяться, что удастся избежать повторения 1941 г. с внезапным нападением и более вероятного варианта – «цветной революции» и насильственной смены российского руководства.

Создание локаторов и первые шаги по разработке боевых лазеров для системы ПРО и контроля космического пространства

Гонка по созданию лазерного оружия – систем ПРО – началась в 50/60-х. В начале 60-х годов прошлого века, когда идея лазера – генератора мощного когерентного остронаправленного светового луча – появились возможности создания оптических квантовых генераторов большой мощности. В те годы в СССР еще не был принят заимствованный из английского языка термин «лазер». Непосредственный предшественник лазера – радиочастотный квантовый генератор (мазер) – был создан в середине 50-х годов практически одновременно и независимо американскими и советскими учеными: Ч. Таунсом, Дж. Гордоном и Г. Цайгером в США, Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым (ФИАН) в СССР. С начала 60-х годов на специалистов обрушилась лавина сообщений по лазерной тематике: в каждом номере ведущих физических и инженерных журналов публиковались новые идеи, схемы и конструкции

лазеров, результаты расчетов и экспериментов [7].

Запуск 15 мая 1960 г. первого лазера Т. Меймана в лаборатории американской фирмы Hughes привел к тому, что у многих ученых и военных в США и вскоре в СССР возникла мысль о возможности создания оружия, позволяющего поразить цель лазерным лучом. Конечно, первые лабораторные лазеры не обладали мощностью и энергией излучения, необходимыми для решения такой задачи. Понимание научно-технических проблем создания такого оружия пришло много позже. Достаточно быстро (в течение нескольких лет) исследователями были получены выдающиеся результаты по совершенствованию лазеров и повышению мощности их излучения, открывавшие перспективы создания оружия на их основе, названного вскоре «лазерным оружием». В ряде развитых стран мира, в первую очередь в США и СССР, началась гонка, финиш которой, как надеялись, принесет победителю обладание оружием большой силы и дальности действия, позволяющим почти мгновенно поражать удаленную цель. К работам по созданию лазеров приступили тысячи ученых в крупнейших лабораториях мира: США, СССР, европейских стран и Японии [7].

В итоге были заложены фундаментальные основы конструирования и физики лазеров, вспомогательных систем и оптики, организовано производство твердотельных, газовых и химических лазеров высочайшей по тем временам мощности. Сделанный научно-технический задел в те годы – используется специалистами-лазерщиками по сей день.

Проблемой особой важности в США и в СССР, а теперь и в России – была и остается сегодня противоракетная оборона (ПРО). Атмосфера, в которой зарождался проект использования лазеров в системе ПРО, определялась тем, что в 60-е годы и в СССР и в США создание систем ПРО рассматривалось как национальная стратегическая задача [7].

Главным научным центром нашей страны, где выполнялись пионерские работы по квантовым генераторам стал Физический институт им. П.Н. Лебедева АН СССР (ФИАН),

и в первую очередь группы, которыми руководили А.М. Прохоров и Н.Г. Басов [7].

Специалисты в области ПРО из ОКБ «Вымпел», главным конструктором и идейным руководителем которого в те годы был Г.В. Кисунько, оценили необходимость решения ряда коренных научно-технических проблем, связанных с возможностью создания и характеристиками систем ПРО. Среди этих проблем первостепенное значение имело точное определение координат головных частей баллистических ракет (ГЧБР) для наведения на них с минимальным промахом противоракет, в которых вместо ядерных зарядов используются осколочные средства поражения. Отказ от ядерных зарядов в противоракетах облегчал условия работы системы ПРО, так как устранялись трудности, связанные с последствиями ядерного взрыва боевой части противоракеты для собственных радиолокаторов, не говоря уже о возможном воздействии таких взрывов над собственной территорией на наземные объекты и население [8].

Использование лазерных локаторов позволяло надеяться на получение высокой точности наведения противоракет при относительно небольших диаметрах оптических антенн (нескольких метров). Применение лазерного излучения вместо радиоволн, используемых радиолокаторами, открывало новые возможности: повышения точности локационных систем ПРО; селекции (распознавания) головных частей баллистических ракет (ГЧБР) среди тысяч ложных целей и фрагментов ракеты; преодоления проблемы недостатка времени для решения задач «ближнего» перехвата ГЧБР в течение короткого интервала времени после ее вхождения в плотные слои атмосферы, когда вследствие торможения, нагрева и сгорания легких ложных целей они прекращают существование и соответствующие им сигналы уже не поступают на локаторы ПРО. Фактором «времени», вызвавшим особый интерес специалистов по ПРО к высокоэнергетическим лазерам, была скорость доставки лазерной энергии к цели, примерно в сто тысяч раз превышавшая скорость полета противоракеты. Это позволяло сэкономить драгоценные секунды, которых так не хватало разработчикам систем на этапе

«ближнего» перехвата, когда, с одной стороны, в атмосфере уже сгорают ложные цели и ГЧБР легче обнаружить, а с другой – остаются считанные секунды до ее «прибытия». В те годы система ПРО рассматривалась в первую очередь как система оружия наземного базирования, как система поражения ГЧБР на завершающем (терминальном) участке их полета при входе в плотные слои атмосферы. Проекты систем ПРО космического базирования, предназначенные для поражения ракет на начальном (стартовом) этапе выведения или на среднем участке траектории, получили развитие значительно позже, в 80-х годах и позднее, когда недостатки и ограничения систем ПРО наземного базирования стали более очевидными [7].

Понятен интерес США в размещении сегодня наземных систем ПРО по границам России и их беспокойство при обнаружении российских подводных лодок у своего побережья, не говоря уже о возможности размещения российских ракет и систем ПРО на Кубе или на территории других соседних стран – «зеркальном» ответе РФ изменениям в военно-политическом противостоянии.

На пути реализации лазеров в системе ПРО стояло много препятствий, и, в том числе – связанных как с необходимостью создания лазеров, систем формирования и наведения лазерного излучения, оптических приемных устройств, теории и методов обработки лазерных локационных сигналов, так и с ограничениями, вызываемыми особенностями распространения лазерных сигналов в атмосфере.

Было неясно какую энергию для поражения ГЧБР необходимо было обеспечить, поскольку ГЧБР – прочное устройство, рассчитанное на большие механические и тепловые нагрузки. Для решения задач в интересах ПРО были нужны лазеры с энергией в импульсе, превышающей достигнутую в 1963–1964 гг. энергию для лазерной локации в сотни раз, а для поражения ГЧБР – в десятки миллионов (!) раз. С самого начала в коллективе Н.Г. Басова понимали, что шансов на поражение ГЧБР тепловыми эффектами, вызываемыми нагревом лазерным излучением, мало. О.Н. Крохин предложил использовать для этой цели механический импульс отдачи, возникающий при быстром

испарении внешнего слоя теплозащитной оболочки ГЧБР под воздействием лазерного излучения высокой интенсивности. Этот механизм требовал тщательного теоретического и экспериментального изучения, однако сама принципиальная возможность такого способа поражения в те годы не вызывала сомнений [7].

Многим специалистам тогда приходила в голову мысль о том, что создание системы ПРО для защиты больших территорий или страны в целом от массированного ракетно-ядерного нападения – задача практически (технически и экономически) неразрешимая (по крайней мере, на существовавшем уровне техники). Но признать данный факт было трудно, да и твердые доказательства его отсутствовали, а последствия ошибки в оценке этого вопроса были бы катастрофическими для страны. Всегда оставались опасения, что какое-то новое научное открытие позволит вероятному противнику совершить прорыв и решить проблему. В этом случае государство осталось бы практически не защищенным от ракетно-ядерного удара, в то время как противник имел бы такую защиту. Поэтому всякая новая идея, направленная на решение проблемы ПРО, внимательно рассматривалась как военными, так и руководством военно-промышленного комплекса СССР. Таким же образом, спустя двадцать лет, в США родилась поддержанная некоторыми крупными учеными и тогдашним руководителем государства президентом Р. Рейганом широкомасштабная программа стратегической оборонной инициативы (СОИ), направленная в первые годы ее существования на решение задачи создания глобальной системы ПРО для защиты территории страны от массированного удара баллистических ракет [7].

В 1962 г. в СССР была утверждена первая государственная программа исследований по известным в то время направлениям лазерной науки и техники. Она не была непосредственно привязана к возможным военным применениям лазеров и предусматривала создание лазеров различных типов (на кристаллах, стеклах, газах, полупроводниках). Предусматривались и работы по таким лазерам, которые при внимательном рассмотрении оказались впоследствии несостоятельными, например, по лазерам

на водороде. Число научных и промышленных организаций, а также высших учебных заведений, занявшихся исследованиями и созданием лазеров, нарастало лавинообразно и уже к середине 60-х годов, вероятно, достигало в СССР сотни. Как и в других областях новой техники и технологии, военные проявляли значительный интерес к оборонным применениям лазеров, поддерживая и финансируя значительную часть работ ученых за счет оборонных статей бюджета. Работы по лазерным системам для ПРО развивались в двух направлениях: лазерная локация (включая проблему селекции целей) и лазерное поражение ГЧБР [8].

Для лазерной локации особый интерес представлял новый в те годы режим гигантского импульса (позже названный режимом модуляции добротности) для генерации коротких и очень мощных импульсов лазерного излучения. Создание лазеров с модулированной добротностью, излучавших импульсы наносекундной длительности, позволило приступить к оценке возможности их использования в импульсных высокоточных лазерных локаторах ПРО.

В результате проведенных в ОКБ «Вымпел» исследований в начале 1963 г. в Военно-промышленную комиссию был представлен проект создания экспериментального лазерного локатора для ПРО, получившего условное название ЛЭ-1. Проект основывался на работах ФИАНа по исследованиям и созданию лазеров на рубине. Первоначально предполагалось построить локатор на основе рубинового лазера со средней мощностью излучения порядка 1 кВт при импульсной мощности десятки мегаватт в режиме гигантского импульса. Многие оптимистические прогнозы впоследствии не оправдались в полной мере, но такой подход, конечно, способствовал быстрому и энергичному развитию лазерных работ и, естественно, их финансированию государством [9].

Решение о создании на Балхашском противоракетном полигоне высокоточного экспериментального локатора ЛЭ-1 для определения координат ГЧБР на дальностях до 400 км было утверждено в сентябре 1963 г. Предполагалось достичь высокого пространственного и углового разрешения локатора (единицы метров и угловых секунд) для того, чтобы «разглядеть»

отдельные элементы сложной цели, например боеголовки, окруженной фрагментами ракеты и ложными целями, что должно было, по замыслу разработчиков, в известной мере решить проблему селекции настоящей боеголовки на фоне ложных целей.

Предусматривалась также программа исследований распространения лазерного излучения в атмосфере. Эти работы тогда возглавил Институт физики атмосферы (ИФА) АН СССР под руководством академика А.М. Обухова. Работы ряда ученых этого института носили фундаментальный характер и получили мировое признание. В конце 60-х годов, когда на Балхашском полигоне строился ЛЭ-1, рядом с этим локатором был создан также специальный измерительный комплекс для контроля и изучения состояния атмосферы и прохождения через нее лазерного излучения. В этой работе большую роль сыграли ученые из томского Института оптики атмосферы (ИОА) СО АН СССР под руководством академика В.Е. Зуева [7]. Проблема прохождения лазерного пучка в атмосфере, воздействия на его качество и расходимость до сих пор является чрезвычайно важной.

В 1970–1971 гг. разработка локатора ЛЭ-1 ОКБ «Вымпел», ГОИ им.С.И. Вавилова, ФИАНом, НИИ прикладной физики, НИИ атомной и электронной промышленности, МГУ и др. – была завершена. Силами ГОИ, ЛОМО и завода «Большевик» (г. Ленинград) был создан для него уникальный по комплексу параметров телескоп ТГ1.

Этот телескоп с диаметром главного зеркала 1.3 м обеспечивал высокое оптическое качество лазерного луча при работе со скоростями и ускорениями в сотни раз более высокими, чем у классических астрономических телескопов.

Были созданы многие новые узлы локатора: быстродействующие точные сканирующие и переключающие системы для управления лазерным лучом, фотоприемники, электронные блоки обработки сигналов и синхронизации и другие устройства, компьютерное управление (еще не очень совершенное). Разработанный ЦКБ «Геофизика» лазерный передатчик, включал 192 совершенных по тому времени 10 Вт-х

лазеров на рубине (работающих с частотой 10 Гц, с энергией в импульсе 1 Дж, общей средней мощностью излучения около 2 кВт), систему их охлаждения, оптического тракта и электропитания. Было организовано производство высококачественных лазерных кристаллов рубина, нелинейных кристаллов KDP и многих других элементов [7].

С 1973 г. на Балхашском противоракетном полигоне в Казахстане сотрудниками ЦКБ «Луч», ЛОМО, ЦКБ «Геофизика», ИОА СО АН СССР и др. были развернуты монтажные и наладочные работы при поддержке и контроле руководства ВПК [7].

В 1974 г. наладочные работы на локаторе были завершены и начались его поэтапные испытания при участии военных специалистов полигона и инженеров всех предприятий-разработчиков. Первые испытания проводились по установленным на вышках измерительным мишеням, позволявшим проконтролировать характеристики излучения локатора, затем по специально оборудованному оптическими датчиками и светоотражателями самолету-мишени. Его пилоты пользовались очками для защиты глаз от возможного воздействия лазерного излучения. Испытания сопровождались измерениями характеристик атмосферы и связанных с ними погрешностей в работе локатора, которые выполнялись учеными из ИОА. Разумеется, в ходе испытаний ЛЭ-1 неоднократно выявлялись технические и организационные проблемы, требовавшие доработок и даже переделок устройств локатора [7].

В 1975 г. была достигнута более или менее уверенная работа локатора по самолету на дальностях около 100 км (планировалось до 400 км для определения координат ГЧБР). Разработчики приступили к испытаниям локатора по ГЧБР, а также искусственным спутникам Земли. Спутники-мишени были оснащены световыми «маяками», измерительными приемниками лазерных сигналов, оптическими отражателями. Испытания позволили получить надежные экспериментальные данные по всем важнейшим параметрам ЛЭ-1 и в целом подтвердили его работоспособность и достижение большинства заданных характеристик. Однако

работа локатора была затруднена в условиях облачности

Тем не менее, ЛЭ-1 представлял собой точное и оперативное средство для внешне-траекторных измерений в интересах ряда систем оборонного значения, включая ПРО. В 1980 г. постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР локатор ЛЭ-1 по результатам испытаний был принят как средство для точных траекторных измерений на Балхашском полигоне. С помощью ЛЭ-1 впоследствии велись локационные траекторные измерения орбит ряда советских и зарубежных спутников и космических кораблей. При этом предпринимались меры предосторожности, чтобы сигналы (хотя и относительно небольшой мощности) лазерного локатора не нанесли какого-либо ущерба функционированию чувствительной аппаратуры, размещенной на космических аппаратах.

Осенью 1983 г. Маршал Советского Союза Д.Ф. Устинов предложил командующему Войсками ПРО и ПКО Ю. Вотинцеву применить лазерный комплекс для сопровождения «шаттла». В то время на комплексе бригада из 300 специалистов выполняла доработки. Об этом и было доложено Ю.Вотинцевым министру обороны. 10 октября 1984 г. во время 13-го полета шаттла «Челленджер» (США), когда его витки на орбите проходили в районе полигона Сары-Шаган, эксперимент состоялся. Лазерный локатор 5Н26 / ЛЭ-1 провел измерения параметров цели – космического корабля многоразового использования «Челленджер» при работе лазерной установки в режиме обнаружения с минимальной мощностью излучения. Высота орбиты корабля в тот раз составляла 365 км, наклонная дальность обнаружения и сопровождения – 400–800 км. Точное целеуказание лазерной установке было выдано радиолокационным измерительным комплексом 5Н25 «Аргунь». Вопреки утверждениям, встречавшимся в иностранной печати, работы локатора по пилотируемым космическим аппаратам и станциям, как по советским, так и по американским, были весьма ограничены, а позднее, после инцидента с американцами – практически запрещены [7].

Как сообщил потом экипаж «Челленджера», при полете над районом Балхаша на корабле внезапно отключилась связь, возникли сбои в работе аппаратуры, да и сами астронавты почувствовали недомогание. Американцы стали разбираться. Вскоре поняли, что экипаж подвергся какому-то искусственному воздействию со стороны СССР, и заявили официальный протест. Исходя из гуманных соображений, в дальнейшем лазерная установка, да и часть радиотехнических комплексов полигона, имеющих высокий энергетический потенциал, для сопровождения «Шаттлов» не применялись. В августе 1989 года часть лазерной установки, предназначенной для наведения лазера на объект, была показана американской делегации [14].

Локатор ЛЭ-1 позволил собрать информацию об отражательных характеристиках («сигнатурах») космических объектов и провести эксперименты по получению так называемой некоординатной информации о них. Активные работы на ЛЭ-1 продолжались до середины 80-х годов. В этот период неоднократно заменялись и модернизировались его элементы, в первую очередь компьютеры, электронные системы, фотоприемные устройства и, частично, оптика. Локатор ЛЭ-1 послужил полезным средством для освоения лазерной техники и дал чрезвычайно ценную информацию научно-технического характера по целому ряду проблем. Разработанные для ЛЭ-1 технологии, элементы и материалы нашли широкое применение при создании многих других лазерных приборов и систем. В середине 70-х годов, в ОКБ «Радуга» были созданы экспериментальные лазерные локационные стенды, в том числе с синтезированной апертурой [7].

Позднее работы над лазерными локаторами были успешно продолжены. Например, ЦНПО «Вымпел», 45-м НИИ МО и НИИДАР, РТИ, позднее «РТИ-Системой» – был создан в 1975/84/92/99 гг.

уникальный военно-космический радиооптический комплекс – космическая «Крона» с лазерным локатором для подсветки цели. Концерн «РТИ-система» поставил на боевое дежурство радар «Крону» на горе Чепал Сев.Кавказа (станция Сторожевая, высота ≥ 2000 м) в 1999 г. для обнаружения и контроля,

распознавания, идентификации и селекции космических объектов. Комплекс уникален – может определить даже диаметр объектива у американских спутников-шпионов и любая маскировка – бесполезна. Проверку по контролю местоположения и точному затоплению в заданном районе Тихого океана 150 т российской орбитальной космической станции «Мир» – «Крона» прошла успешно 23 марта 2001 г. [13].

В 2006 г. было принято решение о продолжении строительства «Кроны» на Дальнем Востоке и ее модернизации на Северном Кавказе. После модернизации многофункциональному комплексу «Крона» - облака и др. атмосферные явления уже не были помехой.

В соответствии с военной доктриной, президент США БУШ в 2006 г. дал указание на создание универсального космического корабля «Falcon» для идентификации и при необходимости – уничтожения спутников противника, а также для вывода на орбиту ядерных боезарядов и «умных» бомб. Еще в 1975 г. США планировали с помощью многоразового корабля «Спейс Шатл» выводить на орбиту грузы до 30 т, в том числе ядерные ракеты класса «космос-земля», поэтому космическая контрразведка российской «кроны» более чем актуальна [13].

Проект «Терра-3». Разработка и создание сверхмощных лазеров для системы ПРО наземного базирования

Идея использования высокоэнергетического лазера для поражения на конечном этапе головных частей (ГЧ) баллистических ракет сформулирована в 1964 г. Н.Г. Басовым и О.Н. Крохиным (ФИАН им. П.Н. Лебедева). Осенью 1965 г. Н.Г. Басовым, научным руководителем ВНИИЭФ Ю.Б. Харитоновым, заместителем директора ГОИ по научной работе Е.Н. Царевским и главным конструктором ОКБ «Вымпел» Г.В. Кисунько в ЦК КПСС была направлена записка, в которой говорилось о принципиальной возможности поражения головной части (ГЧ) баллистических ракет лазерным излучением и предлагалось развернуть соответствующую экспериментальную программу. Предложение было одобрено

ЦК КПСС и программа работ по созданию лазерной стрельбовой установки для задач ПРО, подготовленная совместно ОКБ «Вымпел», ФИАН и ВНИИЭФ, была утверждена решением правительства в 1966 г. В основе предложений лежало изучение ФИАН высокоэнергетических фотодиссоционных лазеров (ФДЛ) и предложение ВНИИЭФ о «накачке» ФДЛ светом сильной ударной волны, создаваемой в инертном газе взрывом». К работам так же присоединился Государственный Оптический Институт (ГОИ). Программа получила название «Терра-3» и предусматривала создание лазеров с энергией более 1 МДж, а так же создание на их основе на Балхашском полигоне научно-экспериментального стрельбового лазерного комплекса (НЭК) 5Н76, на котором идеи лазерной системы для ПРО должны были быть проверены в натуральных условиях. Научным руководителем программы «Терра-3» назначен Н.Г. Басов [14, 15].

Ученые с самого начала понимали, что для лазера с высокой энергией излучения в импульсе (вначале имелся в виду лазер на кристалле рубина с оптической накачкой, КПД которого низок) необходим исключительно мощный источник накачки с соответствующим спектром излучения. В первые годы развития лазерной техники внимание было приковано к мощным твердотельным лазерам на кристаллах, а потом и на активированных стеклах, использующим источники оптической накачки. Разработка других типов мощных лазеров в первой половине 60-х годов находилась еще в зачаточном состоянии. Лампы-вспышки принципиально не могли обеспечить требуемой для сверхмощных твердотельных лазеров энергии накачки, и пришлось обратиться к поиску иных мощных источников накачки [7].

У О.Н. Крохина родилась идея использования для накачки лазеров самого мощного источника света: излучения, возникающего при взрыве атомного заряда в воздухе. Такой экзотический источник по мощности и энергии излучения превосходил другие источники на много порядков [16].

В те годы общая атмосфера «лазерного энтузиазма», в которую усилиями ученых было вовлечено и высшее военно-промышленное

руководство страны, при недостаточном еще понимании механизмов и оценок возможностей реального поражающего действия лазерного излучения способствовала выдвижению не только смелых, но и весьма рискованных проектов. Одним из них и стал проект создания научно-экспериментального комплекса для экспериментальных работ по лазерному оружию наземного базирования для ПРО. Впрочем, как показало будущее, склонность к рискованным и недостаточно обоснованным проектам (не только лазерным) еще долго оставалась слабостью ученых и военных не только в СССР (вспомним, например, о проводившейся в 80-х годах программе создания рентгеновских лазеров с накачкой излучением атомного взрыва для СОИ в США) [7].

Анализ первых схем и идей показал, что создание сверхмощного лазерного оружия на основе лазера на кристалле рубина с накачкой от лампы-вспышки оказалось невозможным, поскольку использовавшиеся импульсные лампы не могли обеспечить сверхбольших общих и удельных потоков излучения. Требуемое число рубиновых кристаллов тоже далеко выходило за пределы возможности промышленности. Необходимо было найти другой лазер с более технологичной и дешевой активной средой, чем рубин, и реальный мощный источник накачки, а не (воображаемый) атомный взрыв. В связи с этим особую роль в развитии работ в интересах ПРО в СССР сыграло создание так называемых йодных фотодиссоционных лазеров (ФДЛ). Физическая идея, лежащая в основе ФДЛ, была предложена и опубликована учеными ФИАНа С.Г. Раутианом и И.И. Собельманом еще в 1961 г. [17].

Они показали теоретически, что возможно получение возбужденных атомов или молекул путем фотодиссоциации более сложных молекул при их облучении мощным (нелазерным) световым потоком. Как было установлено позже, наиболее эффективными рабочими средами для таких лазеров оказались возбужденные атомы йода, образующиеся в ходе фотодиссоциации различных соединений, в первую очередь перфторалкилиодидов (например, CF_3I и $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$). В 1964 г. американские ученые опубликовали сообщение о получении

на лабораторном ФДЛ излучения с небольшой мощностью и энергией [18]. Несколько позже, в 1966 г., в США импульсная энергия излучения такого лазера была доведена до 100 Дж. Н.Г. Басов и О.Н. Крохин предложили применить именно этот тип лазера для достижения предельно высоких энергетических характеристик при его оптической накачке излучением высокотемпературных взрывных источников (американцы не использовали такие источники). Создание очень мощных неламповых источников света с требуемым спектром для накачки (фотодиссоциации) молекул рабочего вещества лазера было одной из основных проблем разработки ФДЛ [7].

Хотя рассматривалась также и идея использовать для этой цели световое излучение ядерного взрыва в воздухе, наиболее существенной для практической реализации мощных ФДЛ оказалась оригинальная идея ученых из ФИАНа и Всесоюзного научно-исследовательского института экспериментальной физики (ВНИИЭФ). Н.Г. Басовым и О.Н. Крохиным было предложено использовать для накачки ФДЛ мощное световое излучение ударной волны в тяжелом газе, создаваемой взрывом заряда взрывчатого вещества (ВВ) [19, 20]. Рассматривались и другие мощные источники света, например электрические разряды или ксеноновые лампы-вспышки. Однако интенсивность их излучения ограничивалась коэффициентом пропускания стенок кварцевых трубок в УФ области спектра [7].

В 1965 г. эти ученые предложили отказаться от кварцевой стенки, отделяющей тяжелый газ (например, ксенон) взрывного или электрического источника накачки («открытый разряд») от активной среды ФДЛ. Именно использование для накачки ФДЛ энергии взрыва химических ВВ в виде излучения фронта ударной волны позволило в течение 4–5 лет увеличить энергию и мощность излучения ФДЛ в миллионы раз и получить к 1970 г. такую энергию излучения, которая и сейчас еще недоступна большинству других лазеров. Процессы, протекающие в ФДЛ, были детально изучены в работах В.С. Зуева [21].

В 1965–1966 гг. в ходе работ, проведенных сотрудниками ФИАНа, ВНИИЭФа и ОКБ

«Вымпел» была продемонстрирована возможность получения с помощью взрывных йодных ФДЛ мощных импульсов лазерного излучения на длине волны 1.315 мкм. Уже в первых сериях экспериментов были достигнуты значительные по тем временам импульсная мощность и энергия излучения. В качестве главных компонентов рабочей среды лазера были выбраны соединения углерода, фтора и йода (трифторидметан CF_3I или гексафторидпропан $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$). Создание ФДЛ с накачкой УФ излучением фронта ударной волны потребовало и преодоления определенного стереотипа мышления: многим казалась дикой сама идея «взрывающегося» лазера [21].

В результате активной работы экспериментаторов и теоретиков уже в 1966–1967 гг. стало ясно, что на выбранном пути могут быть достигнуты такие значения импульсной энергии лазера (называлась цифра до 10 МДж в импульсе, что энергетически соответствует 2 кг мощного ВВ), которые в те годы представлялись почти фантастическими. Ученые полагали, что при этих высоких энергиях и мощностях лазерного излучения удастся разрушить теплозащитное покрытие ГЧБР. Эти предложения формулировались в условиях, когда в лабораториях имелись лазеры с энергией в импульсе около 1 Дж, то есть в десять миллионов раз меньше, чем было необходимо. Напряженной работой энтузиастов из ФИАНа, ВНИИЭФа, ГОИ, ОКБ «Вымпел», ГИПХа, Института физики Земли – была создана и освоена технология производства необходимых соединений йода и фтора и реализован целый ряд оригинальных идей и технических решений в области оптики, источников высокоинтенсивного света, физики и техники взрыва, химии йодных и иных соединений и способов их производства и очистки [21].

Первые эксперименты с ФДЛ, проведенные в 1965–1967 гг., дали весьма обнадеживающие результаты и к концу 1969 г. во ВНИИЭФе с участием ученых ФИАНа и ГОИ были разработаны, собраны и испытаны ФДЛ с энергией импульса излучения сотни тысяч джоулей, что было примерно в 100 раз выше, чем у любого известного в те годы лазера.

Общая конструкция лазера существенно упростилась при исключении кварцевой стенки, разделяющей источник излучения накачки и активную среду и свелась к оболочке в виде трубы, внутри или на внешней стенке которой располагался удлинённый заряд ВВ, а на торцах – зеркала оптического резонатора. Такой подход позволил спроектировать и испытать лазеры с диаметром рабочей полости более метра и длиной десятки метров. Эти лазеры собирались из стандартных секций длиной около 3 м. Жестяной кожух служил для маскировки от средств космической разведки потенциального противника.

Схема взрывающегося лазера была весьма непривычна и подвергалась критике, в частности из-за высокой стоимости первых образцов ФДЛ и оптики к ним, которые разрушались при каждом эксперименте. В ГОИ были начаты работы по физике ФДЛ многократного использования, в которых применялись другие источники накачки, в первую очередь мощные электрические разряды. Работы по экспериментальным стендовым образцам таких ФДЛ проводились во ВНИИЭФе коллективом ученых под руководством А.И. Павловского (с участием сотрудников ГОИ) и конкурировали с работами по взрывным ФДЛ. Лазеры требовали очень мощного и компактного импульсного источника электрического тока. Именно такие источники – взрывомагнитные генераторы (ВМГ) – уже в течение многих лет для других целей разрабатывались во ВНИИЭФе. ВМГ (их называли также магнитокумулятивными генераторами) разрушались в процессе работы при взрыве заряда ВВ, но стоимость ВМГ была во много раз ниже, чем стоимость лазера. В начале 70-х годов были созданы образцы ВМГ, специально предназначенные для накачки электроразрядных ФДЛ, и было организовано их производство на заводе «Электросила» [7].

В начале 60-х годов в СССР (и в других странах) изготовление любой оптической детали или устройства с диаметром больше 30–50 см рассматривалось как уникальная задача. В год изготовлялось около десятка крупногабаритных зеркал и линз. И хотя существовали необходимые для штучного выпуска такой оптики оборудование

и технология – производственный процесс в значительной степени зависел от умельцев-мастеров и рабочих-оптиков. На изготовление и доводку крупной высокоточной оптики уходили годы. Для работ по ФДЛ потребность в крупногабаритной (диаметром 0,4–1,5 м) оптике возросла в десятки раз. В каждом опыте уничтожались не только зеркала лазерного резонатора ФДЛ, но и многие другие оптические элементы, необходимые для обеспечения измерений, фокусировки излучения, защиты датчиков от осколков и т.п. Промышленность в 1965–1967 гг. еще была не готова к изготовлению нескольких сотен крупногабаритных оптических деталей в год. В результате усилий Н.Г. Басова, Ю.Б. Харитона и решающей поддержки С.А. Зверева в течение 1967–1970 гг. на ряде оптических заводов были созданы новые специальные цеха и участки по изготовлению лазерной оптики, спроектированы и изготовлены десятки точных крупногабаритных станков для ее обработки, закуплено за рубежом вакуумное оборудование для нанесения специальных оптических покрытий. В результате предпринятых усилий были во много раз увеличены производственные и технологические возможности страны по изготовлению всех видов крупногабаритной оптики не только для лазеров, но и для многих других применений. Было освоено впервые в мировой практике серийное производство оптических элементов (пластин, зеркал, линз) диаметром до 1,2 м. Нарастивалось также производство оптического стекла и оптических кристаллов для лазерной техники [7].

В ОКБ «Вымпел» в тоже время, в 1967–1969 гг., разрабатывался эскизный проект НЭК «Терра-3». Возникало множество вопросов, в первую очередь – как сформировать остронаправленный луч лазерного излучения, как его быстро и точно (ведь требовалось прямое попадание) навести на летящую со скоростью 3–4 км/с ГЧБР. Требовалась оптика, способная без разрушения выдержать мощный лазерный импульс. Выяснилось, что оптика (оптическое стекло и оптические покрытия) не выдерживает высоких интенсивностей лазерного излучения. Широкая программа работ по созданию более устойчивой к мощному излучению

оптики выполнялась в ГОИ, где были детально изучены процессы ее разрушения и факторы, определяющие ее стойкость. Родилось новое направление в оптике – так называемая силовая оптика. Была начата программа создания оптики, выдерживающей интенсивные потоки лазерного излучения. Требовали решения и разнообразные не лазерные проблемы, такие, например, как создание сверхточных приводов для крупногабаритных зеркал, высокочувствительных фотоприемников для системы точного наведения луча, защита точной оптики от воздействия ударной волны при взрыве многотонных зарядов ВВ в лазерах. В 1967 г. достигнутые в экспериментах энергии ФДЛ приблизились уже к 1 000 Дж в импульсе. Выяснилось, однако, что, генерируя значительную энергию, эти лазеры не позволяли получить ожидавшийся и требуемый от них узкий луч. В лазерах возникали оптические неоднородности, приводившие к расширению луча. А ведь только остронаправленным лучом можно доставить лазерную энергию на сколь угодно значительные расстояния. В экспериментах угол расходимости оказывался примерно в 100 раз большим, чем ожидалось, что делало невозможным создание системы. Идея лазерного ПРО рушилась. Появилось предложение Н.Г. Басова и И.И. Собельмана об использовании двухкаскадной схемы лазерной установки, в которой излучение многих ФДЛ 1-го каскада с «плохой» расходимостью с помощью специальной оптической системы направлялось в лазер-преобразователь (ВКР-лазер) 2-го каскада. Ожидалось, что вследствие высокого коэффициента полезного действия оптические искажения в активной среде такого лазера будут незначительными и, следовательно, выходное излучение – остронаправленным. Накачка ВКР-лазера могла проводиться одновременно несколькими взрывными лазерами, поэтому его также называли «сумматором» [22]. Длина волны ВКР-лазера определялась не только длиной волны накачки ФДЛ, но зависела и от вещества, в котором происходит комбинационное рассеяние. В дальнейшем усилиями ученых ФИАНа и ВНИИЭФа выяснилось, что меньшими потерями в атмосфере при накачке йодными ФДЛ обладает излучение ВКР-лазера

на жидком кислороде, что и обусловило его применение, несмотря на значительные неудобства работы с большими объемами пожароопасного жидкого кислорода. ВКР-лазер 2-го каскада представлял собой криостат с оптическими окнами для ввода и вывода излучения либо, в случае применения сжатых газов, толстостенную прочную камеру, которая способна выдержать давление газа порядка 50–100 атм, также снабженную оптическими окнами для ввода и вывода излучения и оптическим резонатором. Требовалось создать ВКР-лазеры с энергетикой примерно в миллион раз более высокой, чем достигнутая в первых установках на лабораторных стендах ФИАНа. Идея сумматора была принята к реализации и использована ОКБ «Вымпел» при доработке эскизного проекта НЭК «Терра-3». Были начаты программа детальных исследований и, несколько позже (в начале 70-х годов), разработка конструкций мощных экспериментальных ВКР-лазеров АЖ4-Т (энергия импульса 104 Дж) и АЖ5-Т (105 Дж), методов и оптимальных оптических систем для ввода и вывода излучения. Эти работы были выполнены в ЦКБ «Луч» [23]. Для передачи излучения первичных лазеров в сумматор использовались составные (до сотен зеркал) зеркальные панели площадью около 10 м².

Самым слабым местом проекта были, как оказалось впоследствии, заниженные оптимистические оценки лазерной энергии, необходимой для поражения ГЧБР. Постепенно становилось ясным, что программа требует достаточно длительного этапа исследований и крупномасштабных экспериментов, создания многих новых технологий, развития специальной экспериментально-стендовой базы и новых производств, а следовательно, значительного времени [7].

После организации ЦКБ «Луч» в 1969 г. (впоследствии переименованного в ЦКБ «Астрофизика»), наряду с решением многих практических проблем становления и строительства новой фирмы, активно начались работы по созданию НЭК. Было определено, что НЭК «Терра-3», создаваемый на Балхашском полигоне, будет состоять из йодных взрывных ФДЛ, ВКР-лазера (сумматора) на жидком кислороде, системы наведения излучения

и аппаратуры управления комплексом. Основные сооружения НЭК выполнялись из монолитного железобетона и особо прочных конструкций, чтобы выдерживать воздействие ударной волны и, возможно, осколков, возникающих при одновременном взрыве многих ФДЛ. Предусматривалось, что общая масса ВВ в лазерах может достигать 30 т. Здание системы наведения было удалено от площадки для взрывных лазеров и бункера ВКР-лазера на расстояние около 1 км для того, чтобы взрывная волна достигала здания, в котором находилась точная оптика системы наведения, уже после того, как импульс излучения уйдет к цели, а также чтобы защитить систему наведения от фрагментов лазера. Излучение от ВКР-лазера к системе наведения предполагалось передавать по подземному каналу, соединявшему здания. В начале 70-х годов военные строители начали возведение всех зданий и сооружений НЭК. Строительство шло достаточно медленно, что позволяло неоднократно вносить изменения в схему НЭК по мере более глубокого понимания характера проблем, выявлявшихся в ходе экспериментов [7].

Проектирование и изготовление системы наведения шло с участием специалистов ГОИ и ЛОМО. Высокоточное опорно-поворотное устройство оригинальной конструкции создавалось на заводе «Большевик». Для точного (с погрешностью порядка единиц угловых секунд) наведения мощного луча на цель применялась система «оптического нониуса» на основе вращающихся зеркальных клиньев. Высокоточные приводы и безлюфтовые редукторы для опорно-поворотных устройств разрабатывались в ЦНИИ автоматики и гидравлики с участием ученых Московского высшего технического училища им. Н.Э. Баумана. Оптический тракт мощного излучения был выполнен на зеркалах и не содержал «прозрачных» оптических элементов, которые могли бы быть разрушены этим излучением. Проблема лучевой прочности оптики была одной из наиболее острых и заставляла неоднократно вносить изменения в схему НЭК. Первоначальный проект НЭК 1968 г. опирался на данные о стойкости оптических материалов к лазерному излучению, полученные в лабораторных

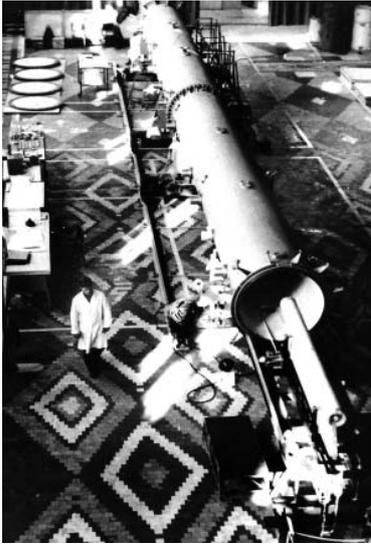


Рис. 2. Сборка во ВНИИЭФ первого мегаджоульного ВФД-лазера Φ -1200 (а) и подготовка его к испытаниям на полигоне, Сары-Шаган, 1969 г. (б) [10, 11, 14]

экспериментах с маломощными лазерами, когда лазерное пятно на оптике имело небольшие (порядка нескольких миллиметров) размеры. С помощью взрывных ФДЛ были проведены опыты на гораздо более крупных оптических элементах. Результаты испытаний оказались весьма неприятными для конструкторов: оптика большого диаметра и оптические покрытия в реальных условиях разрушались чаще и при значительно меньших потоках излучения, чем предсказывали первые лабораторные эксперименты. Потребовалось понять причины этого и создать новые материалы и технологии с увеличенной лучевой прочностью, а также специальное оборудование для обработки оптики и нанесения стойких покрытий. Наибольшие потоки лазерного излучения должна была выдерживать выходная оптика ВКР-лазера. Уже в первых экспериментах с мощными ВКР-лазерами АЖ5-Т группой Е.М. Земскова в ЦКБ «Луч» было обнаружено, что эта оптика разрушается лазерным излучением большой интенсивности. Пришлось заменить оптическое стекло более дорогим

и сложным в изготовлении, специально разработанным, особо стойким оптическим плавленным кварцем, который контактировал с жидким кислородом внутри кюветы лазера. В ГОИ под руководством Г.Т. Петровского была разработана технология изготовления дисков высшей чистоты из плавленного кварца диаметром около 1 м для ВКР-лазера [7].

В 1970–1976 гг. ЦКБ «Луч», ФИАНом и ВНИИЭФом под руководством С.Б. Кормера, Г.А. Кириллова (лазеры со взрывной накачкой) и А.И. Павловского (лазеры с электро-разрядной накачкой) при научном руководстве ФИАНа продолжались экспериментально-конструкторские работы по мощным ФДЛ [20] (рис. 2).

После того как во ВНИИЭФе были успешно испытаны экспериментальные взрывные лазеры с энергией до 1 МДж, предстояло создать промышленные образцы лазеров, конструкции которых соответствовали бы условиям серийного заводского производства.

Проекты таких лазеров разрабатывались как в ЦКБ «Луч» (лазер Φ О-21 и др.) [24], так и во

| Параметр ТТХ / Модель ВФДЛ | Φ О-32 | Φ О-21 | Φ -1200 |
|-------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| Длина, м | 20 | 20 | ~20 |
| Диаметр лазера, мм | 500 | 1 300 | $\geq 1 300$ |
| Энергия импульса, кДж | 60 | 400 | 1 000 |
| Продолжительность импульса, с | 0,00003 | 0,00012 | |
| Рассеивание, рад | 0,0001 | 0,0002-0,0003 | |

Таблица 1. Тактико-технические характеристики (ТТХ) ВФДЛ

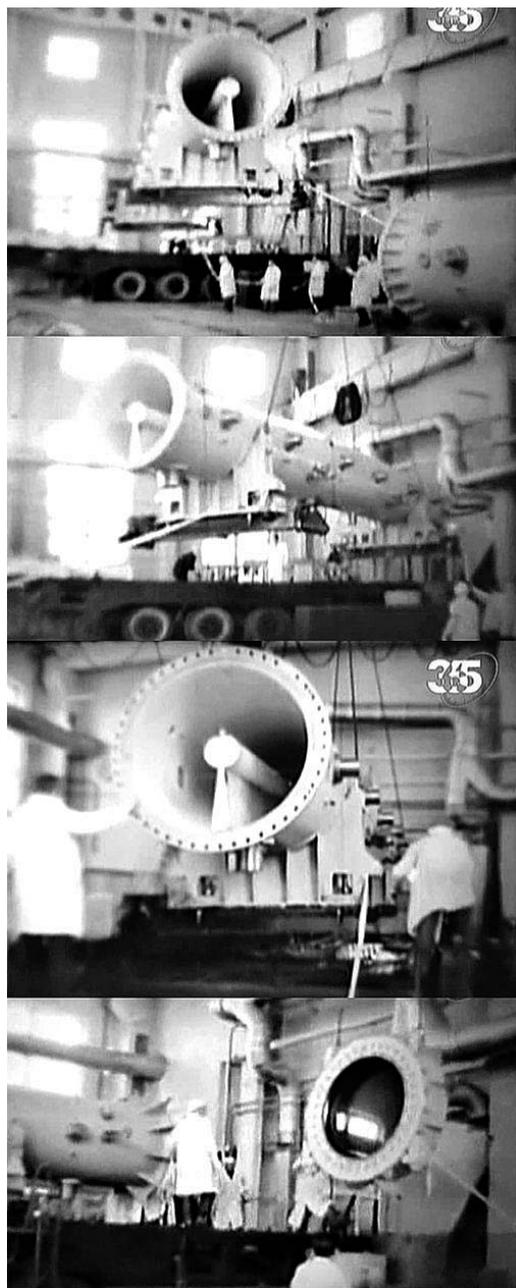


Рис. 3. Подготовка к испытаниям ВФД-лазера Ф-1200, техническая позиция [10, 11, 14]

ВНИИЭФе (лазер Ф-1200) – рисунки 2, 3 и таблица 1. В дальнейшем лазер ФО-21 был модернизирован, его конструкцию удалось изменить, предельно упростить и удешевить почти в 10 раз. Крупногабаритная оптика диаметром 1,2 м для ФДЛ изготавливалась на ЛОМО. Этот диаметр был выбран в соответствии со стандартным размером труб, выпускавшихся металлургической промышленностью для газопроводов. Были разработаны и выпускались серийно модульные ФДЛ типа ФО-32 с меньшей энергией

(несколько десятков килоджоулей в импульсе), широко применявшиеся в экспериментах [8].

Продолжавшиеся во ВНИИЭФ работы по исследованиям электроразрядных ФДЛ привели к созданию в 1974 г. экспериментального стендового лазера с энергией излучения в импульсе около 90 кДж. Лазер размещался в прочном железобетонном каземате, рядом с которым устанавливались ВМГ. Для передачи энергии от ВМГ в каземат использовалось большое число специальных высоковольтных кабелей, позволявших подводить к лазеру ток в сотни тысяч ампер. Проблема сильных магнитных полей, возникающих при мощном электрическом разряде в объеме лазера, потребовала проведения исследований и разработок. Совместными исследованиями ВНИИЭФа и ГОИ были найдены методы борьбы с этими нежелательными эффектами. Только через много лет, в начале 80-х годов, в Лос-Аламосской лаборатории (США) были созданы образцы йодных ФДЛ с накачкой от ВМГ. Энергия этих лазеров, как сообщалось, не превышала несколько килоджоулей в импульсе [7].

В связи с наметившимся прогрессом электроразрядных ФДЛ многократного применения, в 1975 г. конструкторы ЦКБ «Луч» во главе с В.К. Орловым предложили отказаться от использования в НЭК «Терра-3» взрывных ФДЛ и заменить их на электроразрядные. Это достаточно неожиданное предложение было принято, и последовала очередная доработка проекта НЭК. Здание, ранее предназначавшееся для ВКР-лазера АЖ-7Т, было перепроектировано для размещения в нем нескольких электроразрядных ФДЛ. По итогам исследований ВНИИЭФа и ГОИ конструкторами Пермского машиностроительного завода и ЦКБ «Луч» был разработан проект электроразрядного ФДЛ (ФО-13) с энергией в импульсе 1 МДж. Однако этот проект не был реализован. Превращение настольных академических лазеров в мощные полевые конструкции потребовало сложного и длительного этапа работ по их масштабированию до требуемых значений выходной энергии, улучшению практически всех их характеристик, отработке надежных, по возможности простых в эксплуатации технических решений, изысканию способов их сборки

и технического обслуживания в условиях полигона. Более того, переход от малых моделей лазеров к крупным в некоторых случаях требовал радикального изменения схемы лазера, поскольку простое изменение геометрических размеров устройств иногда оказывалось невозможным из-за причин, связанных с физическими процессами в лазерах. Эти работы требовали значительного количества полигонных экспериментов для отработки деталей конструкции и изучения распространения мощного луча на реальной трассе. Существовавшие испытательные площадки не справлялись с объемом работ, и стало ясно, что надо создавать специализированную стендово-отрабочную и испытательную базу для мощных лазеров, какими располагают все другие отрасли оборонной техники: авиация и космонавтика, артиллерия, ракетная техника и т.п. [7].

В начале 1971 г. вышло распоряжение правительства СССР о создании Межведомственного научно-исследовательского испытательного центра и начались изыскания на месте будущего строительства. Центр получил также открытое название ОКБ «Радуга». Его начальником был назначен генерал-майор И.С. Косьминов [25, 26], ранее принимавший участие в создании ракетной техники и крупнейших ракетных полигонов страны. Усилиями советских военных строителей удалось в сравнительно короткий срок создать в глубине владимирских лесов, в условиях болот и бездорожья, крупный испытательно-производственный (а начиная с 80-х годов – исследовательско-конструкторский) комплекс с изолированными испытательными площадками, оснащенными необходимыми сооружениями, трассами, измерительной техникой, значительной энергетикой и всеми видами инженерных сооружений. Более того, был построен опытный завод по производству мощной лазерной техники. Около испытательного центра вырос современный городок Радужный со школами, детскими садами, медицинскими учреждениями. Пожалуй, это единственный в мире город, появление которого было обусловлено проблемами создания мощных лазеров, необходимостью их испытаний и исследований. К середине 80-х годов в ОКБ «Радуга» работало

несколько тысяч человек, из них около тысячи испытателей и исследователей. На испытательной базе велись работы по лазерам разных типов: твердотельным, CO₂- и СО-лазерам, лазерам на парах металлов и др.

Наряду с созданием НЭК, фотодиссоционных лазеров и лазеров-сумматоров для этого комплекса, в 70-х годах был осуществлен целый ряд программ исследований и разработок по другим видам мощной лазерной техники.

Работы по импульсным химическим лазерам (ИХЛ) были начаты как альтернатива ФДЛ. Использование энергии химических реакций в активной среде лазера могло, как надеялись ученые, привести к значительному повышению эффективности его работы (росту КПД) и соответствующему снижению требований к источнику накачки (уменьшению количества ВВ или полному отказу от применения ВВ в системах инициирования химической реакции), а также к созданию лазера многократного действия. Изучался, в первую очередь, химический лазер на основе реакции фтора и водорода (или дейтерия), энергетические характеристики которого оказались наиболее высокими. Исследования и опыты привели к созданию нескольких моделей взрывных ИХЛ (одноразовых) с энергией в импульсе до десятков килоджоулей. Однако количество ВВ, требовавшегося для инициирования химической реакции, все же оставалось значительным, хотя и меньшим, чем для ФДЛ такого же масштаба, и лазеры разрушались в ходе экспериментов. В филиале ИХФ в Черноголовке (под Москвой) была создана первая модель лазера с объемом камеры 300 л и несколько позже, после строительства специального стенда, модель с камерой объемом несколько кубических метров. Однако в этих лазерах использовался недостаточно мощный источник инициирования химической реакции (импульсные лампы-вспышки) и их характеристики оказались невысокими. Работы по ИХЛ дали много результатов физического характера, но не привели к созданию лазеров, конкурировавших с ФДЛ по энергетике излучения. В середине 70-х годов во ВНИИЭФе и ГИПХе получили развитие также работы по созданию импульсных и импульсно-периодических химических

лазеров с инициированием химической реакции электронными пучками. Однако и эти лазеры не удалось масштабировать до энергий, сравнимых с энергией ФДЛ. Велись также работы по исследованию непрерывных химических лазеров (НХЛ), на которые в течение длительного времени делали ставку американцы [7].

В течение 70-х годов были проведены исследовательские работы, создан и испытан ряд моделей НХЛ мощностью до сотни киловатт. Привлечение к работам коллектива КБЭМ, специализировавшегося на строительство ракетных двигателей, с которыми НХЛ имеет (в конструктивном отношении) много общих черт, позволило ускорить создание стендовых образцов НХЛ и освоение сложной технологии работы с ними. Использование в этих лазерах такого высокотоксичного вещества, как фтор, требовало строительства специальных стендов, вакуумных систем откачки и средств утилизации отработанных веществ. Надо отметить, что по сравнению с программами работ, проводившихся в США, работы по НХЛ в составе проекта «Терра-3» имели более скромные масштабы. Несколько позже Н.Г. Басовым была развернута программа исследований непрерывных йод-кислородных лазеров, продолженная в Филиале ФИАНа, созданном в Куйбышеве (ныне Самаре) [7].

В начале 70-х годов, после появления первых сообщений в СССР и за рубежом о работах по CO_2 -лазерам с использованием электронных пучков для организации устойчивого электрического разряда лазера при высоком (атмосферном) давлении активной среды, в СССР были начаты работы по высокоэнергетическим лазерам этого типа, получившим в программе «Терра-3» название электроионизационных. Практически одновременно эти же, по существу, лазеры в интересах других программ создавались в научной и конструкторской кооперации ученых, возглавлявшейся академиками А.М. Прохоровым, Е.П. Велиховым и Б.В. Бункиным. Были подготовлены проектные предложения по созданию электроионизационного лазера со средней мощностью излучения до 1 МВт. В 1973 г. было принято решение о строительстве в ЦКБ «Луч»

экспериментального стендового CO_2 -лазера мощностью 1 МВт, получившего впоследствии условное название ЗД-01. Лазер ЗД-01 отработывался и совершенствовался до конца 70-х годов, и на нем была получена средняя мощность излучения несколько сотен киловатт.

Практически параллельно работы по CO_2 -лазерам с электронной предыонизацией проводились и в других институтах под эгидой А.М. Прохорова и Е.П. Велихова. Значительный вклад в развитие этих лазеров внес В.Д. Письменный, перешедший из МГУ на работу в Филиал Института атомной энергии в Троицке (под Москвой), который в те годы возглавлял Е.П. Велихов. Там эти лазеры назывались быстропоточными электро-разрядными, в отличие от электроионизационных лазеров Н.Г. Басова. Лазеры, разрабатывавшиеся под руководством А.М. Прохорова и Е.П. Велихова совместно с коллективом НПО «Алмаз» (под руководством Б.В. Бункина), строились по схеме открытого цикла, когда использованный газ выбрасывался в атмосферу. Они лучше подходили для применений, требовавших коротких (несколько секунд) циклов работы. Потребовалось время, чтобы его сложные системы, включая специально разработанные мощные электронные пушки для организации разряда в мощной струе смеси CO_2 и других газов, вышли на характеристики, близкие к расчетным. Однако угловая расходимость излучения этого лазера, как и в случае с ФДЛ, оказалась вначале неудовлетворительной. В дальнейшем лазер ЗД-01 (уже вне рамок проекта «Терра-3») был заменен другим, более совершенным электро-ионизационным лазером. Потребовалось несколько лет работы, прежде чем были найдены способы получения требуемой расходимости и внесены необходимые изменения в схему и конструкцию лазера [7] (рис. 4). Работы по частотно-импульсному лазеру ЗД01 мегаваттного класса с ионизацией электронным пучком проводились в ЦКБ «Луч» и позже выделились в отдельное направление в ОКБ «Радуга» (позже - ГНИИЛЦ «Радуга»). В экспериментальной работе в 1976 г. на электроионизационном CO_2 -лазере была достигнута средняя мощность около 500 кВт при частоте повторения до 200 Гц. Использовалась

Испытания воздействия лазерного излучения на аэродинамическую мишень.



а



б



в

Рис. 4. Примеры воздействия высокоэнергетического CO_2 -лазера на модель самолета (НПО «Алмаз», 1976 г.) – а, твердотельного лазера на стальной образец толщиной 15 см – б и воздействия лазерного излучения ВЭЛ на элемент обшивки – в [10]

схема с «замкнутым» газодинамическим контуром (рис. 5). Позже создан усовершенствованный частотно-импульсный лазер КС-10 (ЦКБ «Астрофизика», Н.В. Чебуркин). Позднее, в 80-х годах работы по созданию мегаваттных лазеров с «замкнутым» газодинамическим контуром были продолжены (рис. 6).

В 1975 г. на Балхашском полигоне продолжалось строительство здания для системы наведения НЭК «Терра-3» и начался монтаж оборудования. К тому времени ЦКБ «Луч» была переименована в ЦКБ «Астрофизика».

Строительство НЭК на полигоне не могло не привлечь внимания США, которые с помощью своей национальной системы спутникового контроля следили за состоянием дел на Балхашском полигоне. В конце 70-х годов в американской печати появилась информация о том, что русские строят на полигоне Сары-Шаган на берегу озера Балхаш лазерную установку для ПРО. Надо сказать, что впоследствии американскими военными и гражданскими энтузиастами СОИ эта правдивая в своей основе информация преувеличивалась и обыгрывалась весьма энергично. Ярким примером этого

может служить, например, изданная в 1983 г. в США книга «Лучевая оборона – альтернатива ядерному разрушению», где утверждалось, что русскими «... недавно был испытан усовершенствованный йодный лазер, с помощью которого сбита баллистическая ракета, что продемонстрировало использование лазера в качестве стратегического оружия» [27]. Рисунок НЭК «Терра-3», выполненный на основе данных космической фоторазведки, приводился в изданиях Министерства обороны и госдепартамента США [28]. Много позже, в 1989 г., когда наступил период разрядки, на Балхашском полигоне с личного разрешения М.С. Горбачева побывала большая группа американских политиков, специалистов и журналистов, которым были показаны некоторые «остатки» НЭК «Терра-3», включая систему наведения лазерного луча и здание, в котором по проекту должны были размещаться электроразрядные ФДЛ [7].

Ко второй половине 70-х годов в руках создателей комплекса не было лазерного луча такой мощности, какая требовалась для поражения ГЧБР. Более того, не были ясны

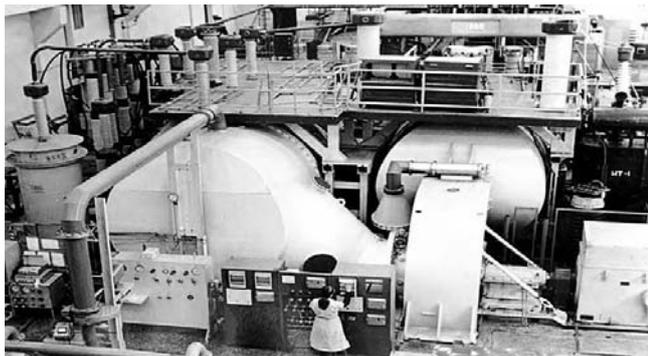


Рис. 5. Частотно-импульсный электро-ионизационный лазер ЗД01 [10, 11, 14]

и пути достижения требуемой энергетики. Разработчики из ЦКБ «Астрофизика» оказались в техническом тупике: параметры спроектированного и сооружаемого комплекса не позволяли надеяться на поражение ГЧБР. Параллельно выполняемые по инициативе Н.Г.Басова исследования в области лазеров других типов хотя и привели к значительному улучшению энергетических характеристик этих лазеров, однако, как и в случае взрывных ФДЛ, не дали результатов, которые позволяли бы ожидать, что ГЧБР можно поразить лазерным излучением в близкой перспективе и при разумных затратах.

Заметим, что американцы в начале 80-х годов, получив разведывательную информацию о работах в СССР по взрывным ФДЛ, также создали такие лазеры с энергией в диапазоне килоджоулей в Лос-Аламосской лаборатории [29] и стали изучать воздействие их излучения на материалы и объекты.

Начатые на полигоне во второй половине 70-х годов испытания системы наведения луча были еще далеки от завершения и сталкивались с большими трудностями, как техническими, так и организационными. При этих испытаниях вместо мощного лазера использовался имитатор – относительно маломощный лазер на стекле с неодимом. В целом работы шли крайне медленно. К 1977 г. программа «Терра-3», формально существуя, лишилась внутренней динамики и напора, которые были характерны для нее вначале. Появлявшиеся у ученых ФИАНа, ВНИИЭФа, ГОИ и других институтов новые идеи в области лазерной физики и техники часто были оригинальными и двигали вперед науку, но не решали все же проблем «Терры-3».

В целом в ходе научно-исследовательских программ по лазерам, и не только в рамках проекта «Терра-3», были достигнуты значительные успехи. Были созданы лазеры различных типов с выдающимися энергетическими характеристиками. В ФИАНе было исследовано новое явление в области нелинейной оптики лазеров – обращение волнового фронта излучения. Это крупное открытие позволило в дальнейшем совершенно по-новому и весьма успешно подойти к решению ряда проблем физики и техники мощных лазеров, прежде всего проблем формирования предельно узкого пучка и его сверхточного наведения на цель. Впервые именно в программе «Терра-3» специалистами ВНИИЭФа и ФИАНа было предложено использовать обращение волнового фронта для доставки энергии на мишень. Все эти достижения не были и не могли быть предусмотрены в НЭК «Терра-3» в том его виде, в каком он был задуман и сложился ко второй половине 70-х годов.

Уже в 1976–1977 гг., когда начались испытания системы наведения луча, стало ясно, что использованные в ее конструкции технические решения устарели. Наука двигалась вперед быстрее, чем работали строители и конструкторы НЭК «Терра-3». Поэтому в ходе работ все время появлялись новые, более совершенные, «обнадеживающие» предложения, но все они, как показывал анализ, требовали многолетних исследований и отработок и не укладывались в рамки программы испытаний комплекса НЭК «Терра-3». Предложение, родившееся в коллективах ФИАНа и ВНИИЭФа [30], основывалось на использовании идеи обращения



Рис. 6. Элементы газового контура импульсного мегаваттного лазера, 1989 г.

волнового фронта применительно к взрывным ФДЛ. Предлагалось вначале «подсветить» мишень излучением вспомогательного ФДЛ, а затем усилить отраженное от нее излучение в миллионы раз с помощью более мощного ФДЛ и вернуть луч точно к цели, применив устройства обращения волнового фронта. Это очень интересное в научно-техническом отношении предложение было поддержано научным руководителем ВНИИЭФ-а Ю.Б. Харитоновым, но оно требовало, с одной стороны, серьезной программы уже начатых экспериментальных и теоретических исследований, а с другой – глубокой переработки схемы НЭК «Терра-3».

За эти годы в стране был достигнут значительный прогресс в создании ракетных систем ПРО, начинала действовать первая система ПРО Москвы, и актуальность лазерной системы существенно уменьшилась.

Было ли прекращение программы поражением ученых и конструкторов? Новые знания и понимание проблем лазерной техники и физики, достигнутые в ходе работ, не давали оснований для оптимизма в отношении основной задачи ПРО – поражения ГЧБР. Однако руководство военно-промышленного комплекса страны убедилось в том, что вероятный противник также не сможет решить задачу ПРО путем поражения ГЧБР на конечном участке траектории с помощью лазеров. Научный руководитель лазерной части программы Н.Г. Басов в беседе, проходившей позже, в 1994 г., сказал по этому поводу, что «отрицательный результат – это тоже результат. А лазеры мы продвинули здорово». Программа «Терра-3» привела к значительному прогрессу в области физики и техники высокоэнергетических лазеров в СССР, дала толчок к созданию принципиально новых технологий, в частности в нелинейной оптике. Эта программа позволила вывести физику и технику мощных лазеров (в первую очередь импульсных и частотно-импульсных) на уровень, превосходивший в то время достижения других стран. В результате теоретических и экспериментальных работ, проведенных в рамках лазерной программы, удалось прийти к глубокому пониманию физики процессов в высокоэнергетических лазерах и решить серьезные технические и конструкторские проблемы.

До настоящего времени эти достижения в значительной степени остаются фундаментом для развития техники мощных лазеров в России. Были получены результаты мирового уровня также в ряде смежных направлений (распространение лазерных пучков в атмосфере, импульсные источники света, взаимодействие излучения с веществом, химия и технология создания активных сред и компонентов лазеров). Многие научные и технические достижения были использованы в последующих работах, включая работы по инерциальному термоядерному синтезу, продолжающиеся до сих пор. Именно Н.Г. Басов, О.Н. Крохин и их ближайшие сотрудники были пионерами и инициаторами работ по управляемому термоядерному синтезу на основе использования для сжатия дейтерий-тритиевой мишени импульсного излучения высокоэнергетических лазеров. Ко второй половине 70-х годов руководство военно-промышленного комплекса, и в первую очередь министр оборонной промышленности С.А. Зверев, систематически знакомясь с очередными докладами ученых о ходе работ, осознало, что задача лазерного ПРО пока не решена. После серии совещаний и обсуждений состояния работ у министра оборонной промышленности С.А. Зверева было принято решение о прекращении работ по программе «Терра-3», и в 1978 г. с согласия Министерства обороны СССР программа была закрыта.

Итогом программы был колоссальный подъем как научного, так и технического уровня исследований и разработок высокоэнергетических лазеров в СССР и лазеров различных типов в России [31–46]. Многие достигнутые в конце 60-х–середине 70-х гг. энергетические характеристики не превзойдены до сих пор. В стране была создана необходимая для обеспечения масштабных лазерных программ передовая конструкторско-техническая, полигонно-испытательная и производственная база. Были сформированы новые коллективы ученых и инженеров, успешно работающие и в наши дни, расширились лазерные лаборатории в ведущих научных центрах страны в Москве, Ленинграде, Сарове, Новосибирске и во многих других местах. Эти коллективы, наряду с разработками оборонного характера, успешно

выполняли и другие программы, например создание мощных лазеров для осуществления термоядерного синтеза с инерциальным удержанием плазмы. В ходе изысканий впервые к высокоэнергетическим лазерам были применены идеи нелинейной оптики, в частности обращение волнового фронта. Основной движущей силой этих программ в течение долгих лет были интеллектуальная мощь, неиссякаемая энергия и предвидения Николая Геннадиевича Басова; научные результаты работ отражены в сотнях публикаций [7].

Позднее осуществлялись проекты ПВО с боевыми лазерами воздушного, космического и морского базирования, которые будут рассмотрены в следующей, 3-ей части Обзора.

Лазерными системами ПВО сегодня активно занимаются, и достаточно успешно: США, Германия, Израиль, Китай, Турция и другие страны. При этом мощность лазеров составляет 10–120 кВт и более, а лазерный луч на расстоянии ~5 км может наводиться с точностью до 5 см. Например, Lockheed Martin (США) заявляет, что надежная лазерная система с высокими надежностью и КПД, создана на основе интеграции модульных волоконных лазеров, когда несколько лучей из оптических волокон фокусируется в один мощный луч, что и обеспечивает высокую эффективность при поражении целей [47,48]. Лазерные системы – компактны и устанавливаются на грузовые машины (а некоторые производители устанавливают их меньшей мощности – на джипы).

Успехи создания современных лазерных систем ПВО – это уже реальность, это уже не «сказки», как это было, в какой-то мере, с системой ПРО и СОИ в 60–70-е гг. и позволяют полагать, что в ближайшие годы дальность и эффективность систем ПВО будут увеличены, и возможно, будут реализованы и в системах ПРО с дальностью в сотни километров.

Интересен пример гражданского применения лазерной дистанционной резки (на расстоянии 70–100 м) при тушения пожара с использованием обычных серийных технологических волоконных (ранее – CO₂-лазеров) лазеров суммарной мощностью ~24–50 кВт [49]. Общее время генерации лазерного излучения комплекса 23.07.2011 г. на буровой установке

скважины № 506 Западно-Таркосалинского НГКМ, составило около 30 ч. После надежной работы комплекса была завершена резка и удаление всех намеченных для демонтажа конструкций и, как результат, была решена главная задача – локализация газовой струи. За 5 лет размеры и вес лазеров были уменьшены на треть и составляют сегодня при мощности 30–50 кВт ~1–2 м³ и 1–2 т (+ примерно такие же по весу и объему – чиллеры / системы охлаждения). Еще недавно было трудно представить такое дистанционное применение лазерной резки, поскольку при обычной технологической резке расплавленный металл, как правило, выдувается из парогазового канала давлением газовой струи при толщине разрезаемого металла до 30–50 мм.

Фирма ККТ (США) предлагает сегодня производителям лазеров чиллеры до 1 МВт [50], при этом понятно, что для технологических целей, сварки и резки – достаточно 3–100 кВт, а более мощные чиллеры могут использоваться в лазерных системах с военными лазерами наземного, воздушного и морского базирования.

Сегодня можно констатировать – проект «Терра-3» и последующие работы – сыграли свою положительную роль, как один из элементов сдерживания США от нападения на СССР и существенно продвинули развитие лазерных технологий, производство лазерной техники и ее компонентов.

Статья позволяет специалистам ознакомиться с историей создания сверхмощных лазеров различных типов и дает возможность гордиться старшему поколению достижениями отечественной и мировой науки и техники в области лазерных технологий, а молодежи – развивать дальше ценнейшее лазерное наследие в гражданских и военных целях.

Список литературы

1. Колумнист *Washington Post*: США играют в «опасную игру» на поле России // URL: http://ria.ru/world/20151216/1343210460.html?utm_source=infox.sg
2. Психотронное и климатическое оружие. URL: <https://youtu.be/FcBJR50LEEU>
3. Новейшее плазменное оружие. Новые разработки российских ученых. URL: <https://youtu.be/pJmQHz0NCp8>
4. LIPE – нелетальное звуковое оружие, которое стреляет очень «громкими» плазменными шарами.

URL: <http://dailytechinfo.org> ; slashgear.com; <http://www.nanonewsnet.ru/news/2015/lipe-neletalnoe-zvukovoe-oruzhie-kotoroe-strelyaet-ochen-gromkimi-plazmennymi-sharami>

5. Игнатов А.Г. Военное применение лазерной техники набирает обороты и начинает определять технический уровень современного и перспективного вооружения. Ч. 1. Военные бюджеты и экспорт, финансирование лазерных проектов // *Фотоника*. 2015, № 4.С. 1–12. URL: <http://www.photonics.su>.

6. Комплексы РЭБ: Ртуть БМ, Рычаг, Витебск. URL: https://youtu.be/A16_BYMw1-A; <https://youtu.be/2t1Bw5Sea98>

7. Зарубин П.В. Академик Басов, мощные лазеры и проблема противоракетной обороны // *Квантовая электроника*, 2002. 32. № 12. С. 1048–1064. URL: <http://ke.ioc.ac.ru>

8. Голубев О.В., Каменский Ю.А., Минасян М.Г., Пупков Б.Д. *Российская система противоракетной обороны (прошлое и настоящее – взгляд изнутри)*. М.: Техноконсалт. 1994.

9. Прилепский Б.В. В сб. *Лазерные и оптические системы*. М.: ГНЦ РФ «НПО «Астрофизика». 1994.

10. Зарубин П.В., Польских С.В. *Из истории создания высокоэнергетических лазеров и лазерных систем в СССР*. Презентация. 2011 г.

11. *Тайны забытых побед. Повелители луча. 2009 г.* // Видео URL: <http://youtu.be/Xc2bTsl3wfQ?t=150> URL: 12/03/2011

12. Польских С.Д., Гончарова Г.В. *Презентация ГНЦ РФ ФГУП НПО «Астрофизика»*. 2009 г.

13. *Космическая «крона» (с лазерным локатором). 2007 г.* // URL: <https://youtu.be/rhzKljUi9dU>

14. *Боевые лазеры СССР* // URL: www.repin.info; <http://oko-planet.su/politik/politikarm/223930-boevye-lazery-sssr.html> , 15/01/2016

15. *Проект «Терра-3»*. URL: <http://www.warinform.ru>, 2011.

16. Крохин О.Н. *Частное сообщение*. 1994.

17. Раутиан С.Г., Собельман И.И. *ЖЭТФ*, 41, 1961. С. 2018.

18. Kasper J.V.V., Pimentel G.C. *Appl. Phys. Lett.*, 5, 1964. P. 231.

19. Аржанов В.П., Борович Б.Л., Зуев В.С. *Вещество в экстремальных условиях. Сборник статей*. Саров: изд-е ВНИИЭФ. 1992. С. 97.

20. Basov N.G., et al. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, 3574, 1998. P. 398.

21. Зуев В.С., Кириллов Г.А. *Тезисы доклада Международной конференции «Оптика лазеров-1993»*. СПб. 1993.

22. Basov N.G., Grasuk A.Z., Zemskov E.M. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.* 3574, 49. 1998.

23. Земсков Е.М. *Тезисы доклада на Международной конференции «Оптика лазеров» (СПб, 1993)*.

24. Земсков Е.М., Синельников С.П., Терещенко В.Н. *Лазерные и оптические системы: сборник статей*. М.: ГНЦ РФ «НПО «Астрофизика». 1994.

25. Зарубин П.В. *Красная Звезда*, № 37 (23338), 2001. С. 2.

26. Косьминов И.С. *Воспоминания о прожитом*. М. 1996. С. 43–50.

27. *Beam Defence an Alternative to Nuclear Destruction*. Fallbrook, CA, USA: AERO Publ. Inc., 1983, ch. 9. P. 77.

28. *Soviet Strategic Defence Programs* (Washington, USA, 1985).

29. *Joint Program on Lasers to Aid Countermeasures*. *Aviation Week and Space Technology*, 114, 61. 1981.

30. Basov N.G., et al. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, 3574, 403. 1998.

31. Айхлер Ю., Айхлер Г.И. *Лазеры. Исполнение, управление, применение*. М.: Техносфера. 2008. 440 с.

32. Звельто О. *Принципы лазеров: пер. 4-е изд.* СПб.: Лань. 2008. 720 с.

33. *Справочник по лазерной технике: пер. с нем.* М.: Энергоатомиздат. 1991. 544 с.

34. Бредерлов Г., Филл Э., Виттэ К. *Мощный йодный лазер: пер. с англ.* Под ред. В.С.Зуева. М.: Энергоатомиздат. 1985. 160 с.

35. Андерсон Д. *Газодинамические лазеры: введение*. Пер. с англ. М.: Мир. 1979. 204 с.

36. Аблеков В.К., Денисов Ю.Н. *Проточные химические лазеры*. М.: Энергоатомиздат. 1987. 176 с.

37. *Химические лазеры: пер. с англ.* М.: Мир. 1979. 118 с.

38. Алейников В.С., Масычев В.И. *Лазеры на окиси углерода*. М.: Радио и связь. 1990. 312 с.

39. *Газовые лазеры: пер. с англ.* / под ред. И. Мак-Даниэля и У. Нигэна. М.: Мир. 1986. 552 с.

40. Копылов С.М., Лысой Б.Г., Серегин С.Л., Чередниченко О.Б. *Перестраиваемые лазеры на красителях и их применение*. М.: Радио и связь. 1991. 240 с.

41. Тарасенко В.Ф., Пойзнер Б.Н. *Импульсные лазеры на плотных газах: физика процессов и экспериментальная техника: учебн. пособие*. Томск: изд. ТГУ. 1992. 143 с.

42. Григорьянц А.Г., Казарян М.А., Лябин Н.А. *Лазеры на парах меди: конструкция, характеристики и применения*. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2005. 312 с.

43. Солдатов А.Н., Латуш Е.Л., Чеботарев Г.Д. и др. *Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция*. Томск: ТМЛ-Пресс. 2012. 526 с.

44. Арутюнян Р.В., Баранов В.Ю., Большов Л.А. др. *Воздействие лазерного излучения на материалы*. М.: Наука. 1989. 367 с.

45. Бахарев М.С., Миркин Л.И., Шестериков С.А. и др. *Структура и прочность материалов при лазерных воздействиях*. М.: Изд. МГУ. 1988. 224 с.

46. Протопопов В.В., Устинов Н.Д. *Инфракрасные лазерные локационные системы*. М.: Воениздат. 1987. 175 с.

47. *США приступили к выпуску супероружия* // URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/usa-lazer-veapon/>

48. Lockheed Martin - High Energy Laser Destroys Rocket! // Видео URL: https://youtu.be/dL9_Tldmrhs, 09/05/2013

49. Красюков А.Г. Мобильные лазерные комплексы // *Ритм*. 2011, № 8. С. 39–41.

50. KKT chillers highlights four of its chiller solutions: 1-6 kW, 6-28 kW, 30-200 kW and the Thermodynamixx chiller that handles 200-1000 kW of power // URL: <https://youtu.be/YNx6J0j4XNg>

References

1. *Columnist Washington Post: SShA igrayut v «opasnuyu igru» na pole Rossii* [Columnist Washington Post: US playing a «dangerous game» in the Russian field]. URL: http://ria.ru/world/20151216/1343210460.html?utm_source=infox.sg

2. *Psikhotronnoe i klimaticheskoe oruzhie* [Psychotropic and climatic weapons]. URL: <https://youtu.be/FcBJR50LEEU>

3. *Noveyshee plazmennoe oruzhie. Noveye razrabotki rossiyskikh uchenykh* [The latest plasma weapons. New developments of Russian scientists]. URL: <https://youtu.be/pJmQHz0NCp8>

4. *LIPE – neletalnoe zvukovoe oruzhie, kotoroe strelyaet ochen «gromkimi» plazmennymi sharami* [LIFE – non-lethal sonic weapon that shoots very «loud» plasma balls]. URL: <http://dailytechinfo.org>; slashgear.com; <http://www.nanonewsnet.ru/news/2015/lipe-neletalnoe-zvukovoe-oruzhie-kotoroe-strelyaet-ochen-gromkimi-plazmennymi-sharami>

5. Ignatov A.G. Voennoe primeneniye lazernoy tekhniki nabiraet oboroty i nachinaet opredelyat tekhnicheskyy uroven sovremennogo i perspektivnogo vooruzheniya. Ch. 1. Voennyye byudzhety i eksport, finansirovaniye lazernykh proektov [Military applications of laser technology is gaining momentum and begins to define the technical level of modern and advanced weapons. Part 1. The military budgets and export financing laser projects]. *Fotonika* [Photonics]. 2015, № 4. Pp. 1–12. URL: <http://www.photonics.ru>

6. *Kompleksy REB: Rtut BM, Rythag, Vitebsk* [Complexes EW: Mercury BM, Lever, Vitebsk]. URL: https://youtu.be/AI6_BYMw1-A; <https://youtu.be/2t1Bw5Sea98>

7. Zarubin P.V. Akademik Basov, moshchnye lazery i problema protivoraketnoy oborony [Academician Basov, high-power lasers and the antimissile defense problem]. *Kvantovaya elektronika* [Quantum Electronics]. 2002. 32. № 12. Pp. 1048–1064. URL: <http://ke.ioc.ac.ru>

8. Golubev O.V., Kamenskiy Yu.A., Minasyan M.G., Pupkov B.D. *Rossiyskaya sistema protivoraketnoy oborony (proshloe i nastoyashchee – vzglyad iznutri)* [Russian missile defense system (past and present – view from the inside)]. M.: Technoconsult. 1994.

9. Prilepskiy B.V. V sb. *Lazernyye i opticheskiye sistemy* [In St. Petersburg. Laser and optical systems]. M.: SSC RF «NPO «Astrophysics». 1994.

10. Zarubin P.V., Polskikh S.V. *Iz istorii sozdaniya vysokoenergeticheskikh lazerov i lazernykh sistem v SSSR* [From the history of high-energy lasers and laser systems in the USSR]. Presentation. 2011.

11. *Tayny zabytykh pobed. Poveliteli luch. 2009 g.* [Secrets of the Forgotten victories. Masters of the beam.

2009]. Video URL: <http://youtu.be/Xc2bTsI3wfQ?t=150> URL: 12/03/2011

12. Polskikh S.D., Goncharova G.V. *Prezentatsiya GNTs RF FGUP NPO «Astrofizika»* [Presentation of the SSC RF NPO «Astrophysics»]. 2009.

13. *Kosmicheskaya «krona» (s lazernym lokatorom)* [Space «crown» (laser radar)]. 2007. URL: <https://youtu.be/rhzKlji9dU>

14. *Boevyye lazery SSSR* [Soviet military laser]. URL: www.repin.info; <http://oko-planet.su/politik/politikarm/223930-boevyye-lazery-sssr.html>, 15/01/2016

15. *Proekt «Terra-3»* [«Terra-3» project]. URL: <http://www.warinform.ru>, 2011

16. Krokhin O.N. *Chastnoye soobshcheniye* [private soobshcheniye]. 1994.

17. Rautian S.G., Sobelman I.I. *ZhETF* [JETP]. 41, 1961. P. 2018.

18. Kasper J.V.V., Pimentel G.C. *Appl. Phys. Lett.*, 5, 1964. P. 231.

19. Arzhanov V.P., Borovich B.L., Zuev V.S. *Veshchestvo v ekstremalnykh usloviyakh. Sbornik statey* [The substance in the extreme conditions. Digest of articles]. Sarov: VNIIEF th ed. 1992. P. 97.

20. Basov N.G., et al. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, 3574, 1998. P. 398.

21. Zuev B.C., Kirillov G.A. *Tezisy doklada Mezhdunarodnoy konferentsii «Optika lazerov-1993»* [Abstracts of the International Conference «Optics-1993 lasers»]. SPb. 1993.

22. Basov N.G., Grasuk A.Z., Zemskov E.M. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.* 3574, 49. 1998.

23. Zemskov E.M. *Tezisy doklada na Mezhdunarodnoy konferentsii «Optika lazerov» (SPb, 1993)* [Abstracts of the International Conference «Laser Optics» (St. Petersburg, 1993)].

24. Zemskov Ye.M., Sinelnikov SP., Tereshchenko V.N. *Lazernyye i opticheskiye sistemy: sbornik statey* [Laser and optical systems: a collection of articles]. M.: SSC RF «NPO «Astrophysics». 1994.

25. Zarubin P.V. *Krasnaya Zvezda* [Red Star]. 2001. № 37 (23338). P. 2.

26. Kosminov I.S. *Vospominaniya o prozhitom* [Memories of living]. M. 1996. Pp. 43–50.

27. *Beam Defence an Alternative to Nuclear Destruction*. Fallbrook, CA, USA: AERO Publ. Inc., 1983, ch. 9. P. 77.

28. *Soviet Strategic Defence Programs* (Washington, USA, 1985).

29. *Joint Program on Lasers to Aid Countermeasures*. Aviation Week and Space Technology, 114, 61. 1981.

30. Basov N.G., et al. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, 3574, 403. 1998.

31. Aykhler Yu., Aykhler G.I. *Lazery. Ispolneniye, upravleniye, primeneniye* [Design, management, application]. M.: Technosphere. 2008. 440 p.

32. Zvelto O. *Printsipy lazerov: per. 4-e izd.* [Principles of lasers: Per. 4th ed]. SPb.: Lan. 2008. 720 p.

33. *Spravochnik po lazernoy tekhnike: per. s nem.* [Handbook of laser technology: pen. with it]. M.: Energoatomisdat. 1991. 544 p.
34. Brederlov G., Fill E., Vitte K. *Moshchnyy yodnyy lazer: per. s angl.* Pod red. V.S. Zueva [Witte powerful iodine laser: Per. from English. Ed. V.S. Zuev]. M.: Energoatomisdat. 1985. 160 p.
35. Anderson D. *Gazodinamicheskie lazery: vvedenie.* Per. s angl. [Gas dynamic lasers: an introduction. Trans. from English]. M.: Mir. 1979. 204 p.
36. Ablekov V.K., Denisov Yu.N. *Protochnyehimicheskie lazery* [Flow chemical lasers]. M.: Energoatomisdat. 1987. 176 p.
37. *Khimicheskie lazery: per. s angl.* [Chemical lasers: Per. from English]. M.: Mir. 1979. 118 p.
38. Aleynikov V.S., Masychev V.I. *Lazery na okisi ugleroda* [Carbon monoxide lasers]. M.: Radio and communication. 1990. 312 p.
39. *Gazovye lazery: per. s angl.* Pod red. I. Mak-Danielya i U. Nigena [Gas lasers: Per. from English. Ed. J. Mack and Daniel W. Nigena]. M.: Mir. 1986. 552 p.
40. Kopylov S.M., Lysoy B.G., Seregin S.L., Cherednichenko O.B. *Perestraivaemye lazery na krasitelyakh i ikh primeneniye* [Tunable dye lasers and their application]. M.: Radio and communication. 1991. 240 p.
41. Tarasenko V.F., Poyzner B.N. *Impulsnyye lazery na plotnykh gazakh: fizika protsessov i eksperimentalnaya tekhnika: uchebn.posobie* [Pulsed lasers on dense gases: the physics of the processes and experimental techniques: uchebn.posobie]. Tomsk izd.TGU. 1992. 143 p.
42. Grigoryants A.G., Kazaryan M.A., Lyabin N.A. *Lazery na parakh medi: konstruktsiya, kharakteristiki i primeneniya* [Liapin Copper vapor lasers: design, features and applications]. M.: FIZMATLIT. 2005. 312 p.
43. Soldatov A.N., Latush Ye.L., Chebotarev G.D. i dr. *Impulsno-periodicheskie lazery na parakh strontsiya i kaltsiya* [Chebotarev and others. The pulse-periodic lasers on pairs of strontium and calcium]. Tomsk: TML-Press. 2012. 526 p.
44. Arutyunyan R.V., Baranov V.Yu., Bolshov L.A. dr. *Vozdeystvie lazernogo izlucheniya na materialy* [Effects of laser radiation on materials]. M.: Nauka. 1989. 367 p.
45. Bakharev M.S., Mirkin L.I., Shesterikov S.A. i dr. *Struktura i prochnost materialov pri lazernykh vozdeystviyakh* [The structure and strength of materials by laser irradiation]. M.: Publishing. Moscow State University. 1988. 224 p.
46. Protopopov V.V., Ustinov N.D. *Infrakrasnyye lazernye lokatsionnyye sistemy* [Infrared laser radar system]. M.: Military Publishing. 1987. 175 p.
47. *SShA pristupili k vypusku superoruzhiya* [The United States began to issue superweapon]. URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/usa-lazer-veapon/>
48. Lockheed Martin - High Energy Laser Destroys Rocket! // Видео URL: https://youtu.be/dL9_Tldmrhs, 09/05/2013
49. Krasnyukov A.G. Mobilnyye lazernye komplekсы [Mobile laser systems]. *Ritm* [Rhythm]. 2011, № 8. Pp. 39–41.
50. KKT chillers highlights four of its chiller solutions: 1-6 kW, 6-28 kW, 30-200 kW and the Thermodynamixx chiller that handles 200-1000 kW of power // URL: <https://youtu.be/YNx6J0j4XNg>



Информация об авторе

Игнатов А., член Коллегии национальных экспертов стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям 2005–2017 гг.
 ООО «ЛазерИнформСервис»
 г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
 E-mail: laseris-spbo@yandex.ru

Information about author

Ignatov A., Member of the Board of national experts of the CIS countries on Lasers and Laser Technologies 2005–2017 years
 LaserInformService
 St. Petersburg, Russian Federation
 E-mail: laseris-spbo@yandex.ru