Содержание комментариев сводится к тому, что в целом его авторы соглашаются с докладом и поддерживают его выводы. Специально отмечается, что информация, опущенная в докладе по соображениям секретности, ни в коей мере не влияет на его основные выводы. В частности, в комментариях утверждается: «... Нельзя прогнозировать, что развертывание существенных компонент ПО системы ПРО может быть осуществлено ранее 2000 г.». При этом подчеркивается, что за долгий период разработки и развертывания ПО следует ожидать существенного развития наступательных средств, в том числе нацеленных на систему ПО в ПРО.

Сообщается также, что полный текст доклада, содержащего 423 страницы, опубликован в «Reviews of Modern Physics» (1987. V. 59, No. 3, pt II. P.S1-S202).

539+621.378.325

ДОКЛАД АМЕРИКАНСКОМУ ФИЗИЧЕСКОМУ ОБЩЕСТВУ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ О НАУЧНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ ПУЧКОВОГО ОРУЖИЯ

Тезисы и основные выводы *)

Американское Физическое общество (АФО) создало данную экспертную группу с целью оценить научные и технологические аспекты состояния дел в создании пучкового оружия (ПО). Оценки сосредоточиваются на различных аспектах технологии лазеров и пучков частиц высокой энергии как потенциальных средств для защиты от атаки баллистических ракет. Эти действия АФО были мотивированы расхождением точек зрения членов научного сообщества, последовавшим после речи президента Рейгана 23 марта 1983 г., в которой он призвал американское научное сообщество создать такую систему, которая «... могла бы перехватить и уничтожить стратегические баллистические ракеты прежде, чем они достигнут нашей территории...». Предполагалось, что пучковое оружие будет играть определяющую роль в защите от баллистических ракет (ПРО).

АФО поручило экспертной группе подготовить несекретный доклад, который мог бы обеспечить членов АФО, других ученых и инженеров, а также и более широкие заинтересованные круги основной технологической информацией о пучковом оружии. Возлагались надежды и на то, что этот доклад, проясняя современное состояние дел и будущие возможности ПО для целей стратегической обороны, будет служить источником технической информации для более компетентных общественных обсуждений вопросов, относящихся к СОИ.

Изучение вопроса было сосредоточено на физических основах лазеров высокой интенсивности и пучков высоко энергичных частиц, а также на контроле пучков и их распространении. Кроме того, были изучены вопросы обнаружения целей, их идентификации, проблема взаимодействия пучков с веществом, их разрушающего воздействия, источников энергии и «выживаемости» систем.

---

*) Report to the APS of the Study Group on Science and Technology of Directed Energy Weapons [DEW]: Executive Summary and Major Conclusions//Phys. Today. May 1987. V. 40, No. 5. P. S3—S15; How Leading Candidate DEW Sources Work//Ibidem. P. S6 [таблица].— Перевод В. А. Белякова.

© The American Institute of Physics 1987
© Перевод на русский язык, издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, «Успехи физических наук», 1988

Технология кинетического пучкового оружия (КПО) подробно не обсуждалась, однако роль базируемого в космосе КПО, как поддерживающего систему ПО, рассмотрена в докладе там, где это требуется. Более того, многие важные вопросы, касающиеся команд, контроля, коммуникаций и разведывательной информации ($К^3Р$), компьютерной техники, программного обеспечения и их надежности в боевых условиях, а также сложности всей системы в целом, были поставлены, но не обсуждены в деталях. Представляется, что другие вопросы, важность которых также признана, что, однако, не является темой доклада, — это требования к обслуживающему персоналу, стоимость и соотношение стоимость — эффективность, контроль вооружений и стратегическая стабильность, а также проблемы последствий для международной и внутренней политики.

Технология ПО рассмотрена в приложении к обороне от баллистических ракет как для дискриминации целей от камуфляжных объектов в средней

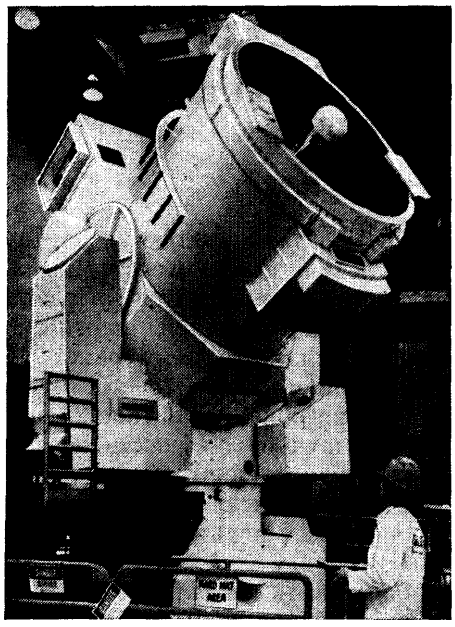

Рис. 1. Устройство, направляющее луч от ИК усовершенствованного химического лазера—лазера средней мощности, используемого в настоящее время в экспериментальных программах на полигоне Миссайл-Рэндж в Уайт-Сэндс

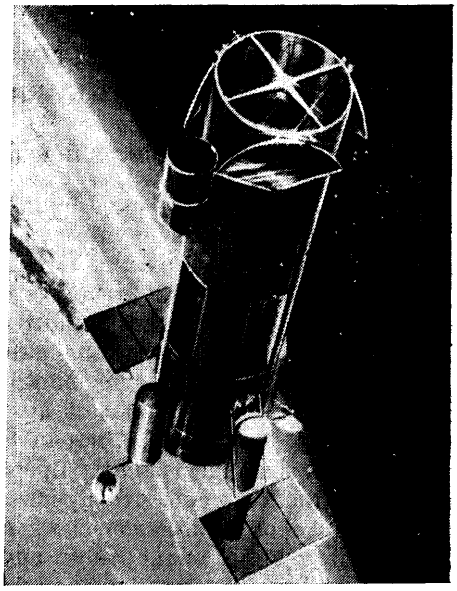

Рис. 2. Боевая станция с мощным химическим лазером на низкой околоземной орбите в представлении художника. Сравнительно компактный источник энергии для химического лазера создает благоприятные условия для его размещения в космосе. Большая длина волны его излучения делает необходимым применение оптических элементов с большими размерами апертуры для обеспечения большой дальности поражения. Атмосферное поглощение излучения делает их непригодными для наземного базирования

фазе полета, так и для уничтожения межконтинентальных баллистических ракет (МБР) в фазе выведения на траекторию и в последующей фазе. Это рассмотрение оказалось важным ввиду многочисленности технологических достижений за последнее десятилетие в технологиях ПО. Если достижение эффективной обороны всей страны может потребовать значительных усилий по созданию компонент перехвата в фазе вывода на орбиту, то другие сценарии стратегической обороны, включая определение объектов для надежной обороны, представляют в целом более мягкие требования к системе ПО. Для экспертной группы являлось важным представить современное состояние дел в технологии ПО и оценить это состояние применительно к задачам пере-

хвата в фазе вывода на траекторию и дискриминации целей в средней фазе полета.

Хотя в течение двух последних десятилетий был достигнут существенный прогресс во многих технологиях, относящихся к По, экспертная группа выявила значительные пробелы в научном и инженерном осмыслении многих вопросов, связанных с развитием этих технологий. Успешное разрешение соответствующих вопросов критически важно для экстраполяции имеющихся достижений к тому уровню технологий, который требуется для функционирования эффективной системы баллистической противоракетной обороны. В настоящее время имеющаяся информация недостаточна для принятия мотивированного решения о том, может ли быть требуемая экстраполяция выполнена вообще, или нет. Наиболее существенные элементы, необходимые для системы ПО, требуют улучшения их параметров в количественном выражении на несколько порядков величины. Поскольку к тому же эти элементы взаимосвязаны, то соответствующие улучшения должны быть достигнуты взаимосогласованным образом. По нашим оценкам даже в случае наиболее благоприятных обстоятельств потребуется десятилетие или более интенсивной исследовательской работы для накопления технических знаний, которые необходимы для мотивированного решения относительно потенциальной эффективности и живучести системы ПО.

Основой высказанного выше утверждения явились следующие данные. Мы оценили, что все существующие кандидаты на роль пучкового оружия, т.е. оружия пучковой концентрации и наведения энергии (ПО) требуют два или более порядков величины (степеней 10) улучшения как по выходу энергии, так и по качеству пучка, прежде чем их можно серьезно рассматривать для использования в системе баллистической противоракетной обороны. В дополнение к этому многие вспомогательные технологии, такие, как источники энергии в космосе, контроль пучка и его наведение, обнаружение, слежение и распознавание целей, требуют подобных же улучшений, прежде чем ПО можно считать пригодным для применения против баллистических ракет.

Кандидаты на роль пучкового оружия в настоящее время находятся в различных стадиях развития. Среди многих возможностей ИК химические лазеры были объектом исследований наибольшее время, и уже создано несколько их мощных лабораторных моделей. Однако из-за большой длины волны излучения и других технических аспектов эти лазеры представляются менее привлекательными кандидатами для оружия ПРО, хотя именно они в некотором смысле ближе всего к требуемому уровню функционирования. Лазеры на свободных электронах и эксимерные лазеры представляются в настоящее время более привлекательными кандидатами в качестве оружия ПРО. Однако в настоящее время функционирует малое количество их мощных лабораторных моделей, а упоминавшееся необходимое улучшение параметров для них по оценкам должно быть значительней, чем для химических лазеров. Рентгеновские лазеры, накачиваемые путем ядерного взрыва, хотя и являются предметом большого количества общественных обсуждений, в настоящее время находятся еще только в стадии научных исследований. По нашему мнению их потенциальные возможности в ПРО неопределенны [1]. Установки, генерирующие пучки заряженных и нейтральных частиц, создаются на основе существующей техники ускорителей, однако они требуют значительного совершенствования по сравнению с уровнем, достигнутым на сегодня.

Вспомогательные технологии также находятся в различных стадиях развития. Во многих областях исследования прогрессируют в быстром темпе. Это относится, например, к схемам для быстрого управления оптическими пучками и активным системам слежения с микрорадианной точностью или даже выше [2]. Другие критические для системы ПО технологии, такие, как техники активного распознавания, засекречены и выполняются параллель-

но в нескольких местах. Те же самые проблемы, что и отмеченные выше для ПО, присутствуют и здесь. А именно, предложенные вспомогательные технологии должны быть систематически исследованы, прежде чем может быть дана реалистическая оценка возможности их функционирования на уровне требований к параметрам, требуемым в применении для ПРО.

Как любая система обороны, эффективная система обороны ПО должна быть способной справляться с развивающимися и непредсказуемыми новыми возможностями ракетной угрозы. В дополнение к усовершенствованиям и улучшениям самих ракет камуфляжные объекты и другие средства, способствующие достижению целей, могут быть развиты атакующей стороной в течение весьма длительного времени, требуемого для развития и развертывания обороны от баллистических ракет. В противоположность техническим проблемам для обороняющейся стороны, возникающих в процессе развития систем ПО, способных поражать цель в стадии вывода на траекторию, возможности совершенствования для атакующей стороны, включая атаку на космические платформы ПО, могут быть менее трудными и дорогими; они могут потребовать меньшего порядка величины улучшения параметров системы.

Система ПРО может быть приемлемой, если она живуча, однако обеспечение живучести дорогостоящей системы, развернутой в космосе, представляется проблематичным. Развернутые на земле элементы системы ПО также подвержены угрозе нападения. Принципы действий по нейтрализации упомянутой угрозы для системы ПО находятся пока что в стадии младенческого развития. По мере возрастания общей сложности ПРО, опирающейся на систему ПО, нерешенные и сейчас вопросы расчета, проверки и предсказуемости поведения всей системы становятся для нее все возрастающе критическими.

Для того чтобы пучковое оружие могло играть существенную роль как механизм поражения в стратегической системе обороны, рассчитанной на защиту всей страны от атаки баллистических ракет, должны быть выполнены следующие условия:

I. Для действия в фазе вывода на траекторию:

A. Достаточная мощность (энергия) пучкового оружия, чтобы поразить баллистическую ракету в фазе вывода на траекторию или поразить объект в последующей фазе в процессе развертывания боеголовок.

B. Достаточное качество пучка, точность нацеливания и быстрота перенацеливания, нужная для того, чтобы передать на цель энергию, достаточную для ее разрушения в течение времени, предоставляемого для этого условиями работы системы.

C. Для лазеров — оптическая система для передачи луча от источника кцелям.

D. Точное обнаружение, определение положения ракеты по ее выхлопному факелу и точное слежение от момента обнаружения запуска ракеты до завершения поражения.

E. Надежная проверка поражения.

II. Для операций в средней фазе траектории:

A. Надежные средства разрешения боеголовок и камуфляжных объектов в том случае, если не все объекты могут быть уничтоженными.

B. Точное детектирование, слежение за очень большим числом объектов в средней фазе полета и проверка поражения.

C. Быстрое переключение с цели на цель и достаточность мощности (энергии) достигающей цели от ПО для того, чтобы уничтожить боеголовки.

III. Для заключительной фазы:

Мы не ожидаем, что ПО будет играть важную роль в заключительной фазе траектории баллистических ракет.

IV. Для операций с космическим базированием:

A. Ядерные реакторы или другие средства выработки необходимой электрической мощности для текущего функционирования.

B. Необходимая импульсная мощность для действия ПО в течение боевого функционирования.

C. Надежность работы в космосе всех тех компонент и подсистем на космической платформе, которые, как правило, не выдерживают продолжительного пребывания в космосе.

V. Для живучести системы:

A. ПО должно быть способным работать «во враждебной среде» в течение конфликта.

B. ПО должно быть объединено в целостную систему, которая включает неуязвимые командные, контролирующие, коммуникационные и разведывательные (K^3P) подсистемы. Мы изучили большинство из этих пунктов достаточно детально, за исключением пунктов III, IV.C и V.B. Следующие основные заключения основаны на детальном рассмотрении, содержащемся в основном тексте доклада и отмечены в скобках соответствующими номерами разделов отчета.

1. *По нашим оценкам выходная мощность химических лазеров при приемлемом качестве луча должна быть увеличена, по крайней мере, на два порядка величины в случае* HF/DF-*лазеров для их использования как эффективного оружия поражения в фазе вывода на траекторию. Аналогично, для лазеров на атомарном йоде, по крайней мере, необходимо соответствующее улучшение на пять порядков величины.*

Химический лазер на HF/DF в непрерывном режиме, как утверждается [3], дает выходной уровень мощности, превосходящий 200 кВт при приемлемом качестве луча. Основываясь на этих данных, мы оцениваем, что даже максимально низкие требования, предъявляемые к стратегической обороне, требуют дальнейшего увеличения уровня мощности, по крайней мере, на два порядка величины в предположении о сохранении качества луча. Однако для геометрии лазера, в которой достигнуты названные величины, будут возникать трудности при переходе к более высоким уровням мощности. Поэтому вопрос о возможности увеличения мощности при условии сохранения качества луча остается пока что открытым. Химически накачиваемый лазер на атомарном йоде создан на длине волны 1,3 мкм, однако на этой длине волны была получена в непрерывном режиме только мощность 5 кВт. Из-за поглощения в атмосфере HF-лазер ($\lambda = 2{,}8$ мкм) придется размещать на платформе в космосе, в то время, как DF-лазер ($\lambda = 3{,}8$ мкм) и лазер на атомарном йоде ($\lambda = 1{,}3$ мкм) могут также действовать на земле. Базирование химического лазера в космосе вызывает ряд специальных проблем, возникающих из-за вибраций и выгорания запасов топлива. (Раздел 3.2.)

2. *По нашим оценкам энергия в импульсе излучения эксимерного лазера при его применении в стратегической обороне требует увеличения, по крайней мере, на четыре порядка величины по сравнению с достигнутым в настоящее время уровнем. Для этих лазеров нужен также значительный прогресс, чтобы добиться требуемой частоты повторения импульсов при сохранении в них желаемой мощности.*

На импульсном эксимерном лазере была достигнута энергия в импульсе 10 кДж при его длительности 1 мкс от единичного модуля [4]. (Раздел 3.3.) В этом лазере используется фторид криптона ($\lambda = 249$ нм); другой главный конкурент среди образцов эксимерных лазеров — это лазер на хлориде ксенона ($\lambda = 308$ нм). По нашим оценкам в предположении об общих потерях при распространении, определяемых фактором 4 (потери зеркал отражения, потери на рэлеевское рассеяние и атмосферные потери), базируемый на земле эксимерный лазер для целей стратегической обороны должен производить

Как работают основные кандидаты на роль пучкового оружия

Химический лазер (см. рис. 1 и 2) работает за счет экзотермической химической реакции, которая возбуждает колебательные молекулярные уровни и делает возможным когерентную генерацию излучения на соответствующих переходах. В типичной ситуации струи топлива и окислителя быстро смешиваются в оптическом резонаторе. Например, в лазере на HF для получения атомарного фтора F используется горелка, после чего фтор реагирует с молекулярным водородом H_2, возбуждая рабочий лазерный уровень, колебательное возбуждение молекулы HF.

Для работы *эксимерного лазера* (см. рис. 3 и 4) используют электронный пучок или газовый разряд, которые за счет электронных столкновений производят ионизацию или возбуждение молекул газа. Эта ионизация или возбуждения вызывают последовательность химических реакций, в результате чего возникают возбужденные состояния молекул со слабосвязанными или даже несвязанными атомами в основном состоянии. Таким образом, в эксимерном рабочем веществе образующиеся возбужденные молекулы эффективно создают инвертированное заселение энергетических уровней. Одно из семейств эксимеров — разреженные газы моногалогенных молекул (таких, как KrF,XeCL) — дает излучение в мягком УФ диапазоне (249 нм для KrF и 308 нм для XeCL) при относительно высоком к. п. д. (2—7 % в целом) и поэтому представляет главный интерес для военных приложений. Лазерные полости отдельных лазеров используют нестабильные резонаторы, чтобы извлекать из них высокую мощность излучения без оптических повреждений.

Лазер на свободных электронах (ЛСЭ) (см. рис. 5 и 6) работает на интенсивном пучке высокоэнергетических электронов, который, проходя через переменное в пространстве магнитное поле, когерентным образом испускает электромагнитное излучение. Эффективность ЛСЭ определяется долей энергии пучка, трансформированной в энергию излучения. Высокоэнергичные пучки электронов для ЛСЭ могут быть получены либо ускорением электронов в РЧ резонаторах (как делается в большинстве обычных ускорителей частиц), либо за счет их прохождения через линейные ускорительные секции, в которых, по существу, пучок выступает в качестве вторичного витка для набора первичных трансформаторных обмоток. Такие ускорители называются РЧ и индукционными линейными ускорителями, соответственно; такие же названия используются для самих ЛСЭ. Так как в них сравнительно малые градиенты ускорения, индукционные ускорители оказываются очень длинными (сотни метров для ускорения электронов до сотен мегаэлектрон-вольт), чтобы их на практике можно было использовать как лазерные генераторы; РЧ ЛСЭ могут работать либо как генераторы, либо как усилители, однако в генераторах с пучками высокой интенсивности возникают проблемы повреждений оптических компонентов.

Генератор пучка нейтральных частиц (см. рис. 7 и 8) состоит из источника отрицательных ионов водорода (H^-), РЧ квадрупольной системы, которая обеспечивает начальное ускорение и поперечную фокусировку ионного пучка линейного ускорителя со смещаемым потенциалом канала, обеспечивающего основное ускорение, расширителя пучка, который превращает пучок с малым поперечным сечением в широкий пучок (и, следовательно, в пучок с малой угловой расходимостью), и камеры, в которой происходит удаление одного избыточного электрона (но не двух), чтобы получить пучок нейтрального водорода H^0. Полученный пучок должен быть направлен в требуемом направлении, что делается непосредственно перед стадией получения нейтральных атомов водорода

по крайней мере энергию 100 МДж в единичном импульсе или в последовательности импульсов общей продолжительностью в интервале от нескольких единиц до нескольких сотен микросекунд. (Раздел 6.3.) Для поражения множественных целей желательна частота повторения «выстрелов» порядка десяти в секунду. (Раздел 6.2.) Разрыв в четыре порядка величины может быть преодолен, во-первых, объединением лазеров в модули с уровнем мощности в сотни киловатт и затем оптическим связыванием многих модулей. Для получения от модуля луча высокого оптического качества выходы из апертур оптических усилителей низкого качества могут быть связаны путем использования вынужденного рамановского рассеяния или другими методами. (Раздел 3.3.) Мы оцениваем, что техника вынужденного рамановского согласования должна быть улучшена на два порядка величины или более по мощности и эффективности в связанных лазерах по сравнению с величина-

ми, достигнутыми на сегодня в лаборатории. Техника фазового согласования большого числа лазерных модулей пока что не реализована. (Раздел 5.4.)

3. *Лазеры на свободных электронах, пригодные для применений в стратегической обороне и работающие в области длин волн порядка* 1 *мкм, нуждаются в проработке ряда физических концепций.*

Лазер на свободных электронах (ЛСЭ) — одно из новейших направлений в лазерной технике, реализованное в лабораторных условиях. Пиковая мощность ~1 МВт была достигнута на длине волны 1 мкм; пиковая мощность

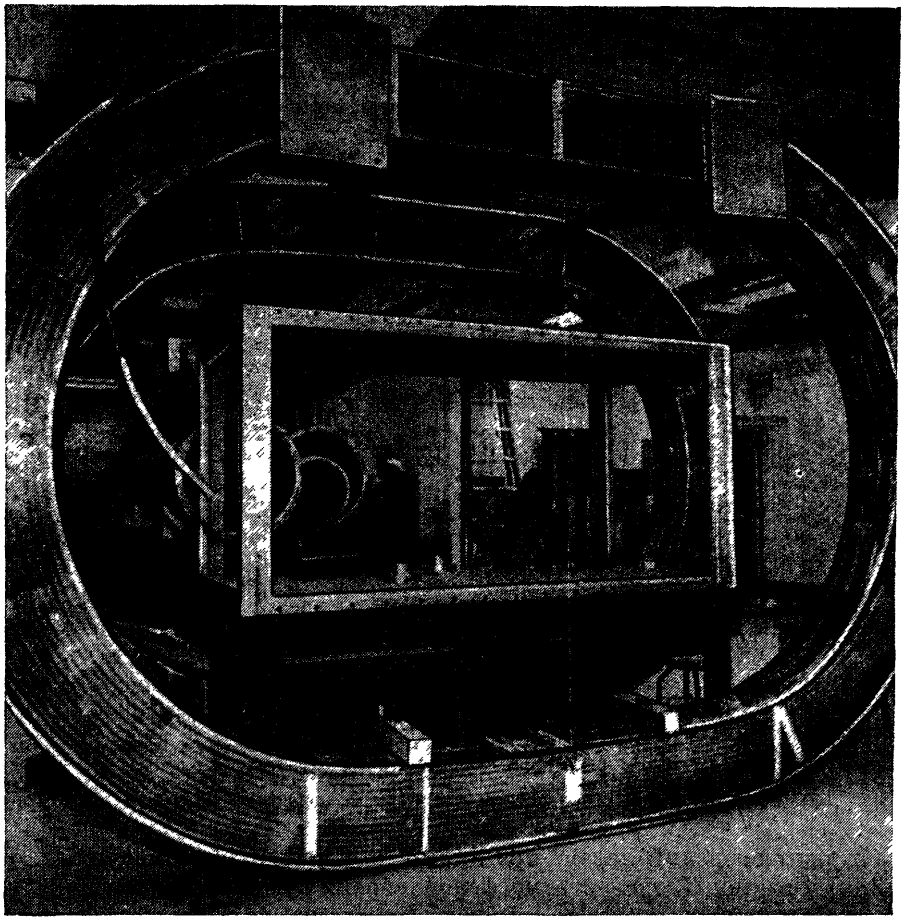

Рис. 3. Полость большого KrF-лазера, сооружаемого в Лос-Аламосской Национальной лаборатории.

Большая овальная катушка магнита обеспечивает однородную передачу энергии по объему рабочего газа лазера На этом рисунке луч лазера в пределах полости распространяется в направлении слева направо и обратно

~1 ГВт была достигнута на 8 мкм, что продемонстрировало высокое усиление и высокую эффективность на этой длине волны [5]. Переход к более коротким длинам волн при высоких мощностях — более сложная техническая задача, чем просто увеличение средней мощности. Получение высокоэффективного высокомощного лазера на свободных электронах на 1 мкм требует экспериментальной проверки физических концепций, которые пока что были разработаны только теоретически, — таких, как оптические волноводы и секступольные фокусирующие системы для режима усиления, а также контроль побочных частотных полос и гармоник в режиме генерации [6].

Мы оцениваем, что для использования в стратегической обороне лазер на свободных электронах при наземном базировании должен достигать среднего уровня мощности, по крайней мере 1 ГВт на длине волны 1 мкм, что соответствует пиковой мощности 0,1—1,0 ТВт. (Разделы 3.4 и 6.3.)

4. *Рентгеновские лазеры, накачиваемые ядерным взрывом, требуют проработки многих физических концепций, прежде чем может быть оценена возможность их применения в стратегической обороне* [7].

Подкомитет экспертной группы подготовил обзор достижений в области рентгеновских лазеров. Было продемонстрировано функционирование накачиваемого ядерным взрывом рентгеновского лазера. Это была исследовательская программа, в которой еще должно быть изучено множество физических и инженерных вопросов. Что еще не показано, так это то, возможно ли будет

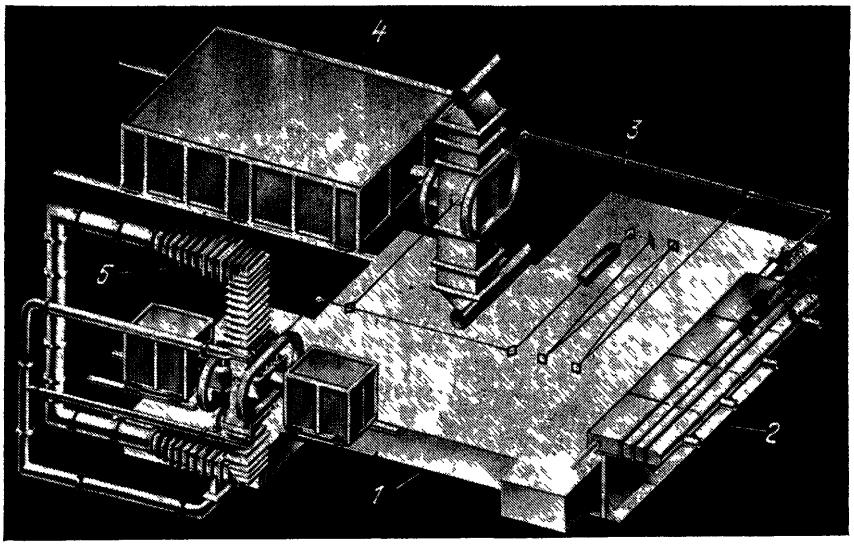

Рис. 4. Установка с эксимерным лазером, как ее представляет художник, рассчитанная на создание луча хорошего качества путем рамановской очистки.
В ней выходной луч от эксимерного лазера накачивает рамановски активный газ (водород). После этого затравочный луч с высоким оптическим качеством отбирает энергию от возбужденной среды, причем слегка сдвигается первоначальная длина волны, однако сохраняется высокое оптическое качество затравочного пучка: *1* — оптическая скамья, *2* — рамановский усилитель, *3* — затравочный рамановский генератор, 4 — усилитель мощности, *5* — основной генератор

создать рентгеновский лазер, пригодный для военных применений [7]. (Раздел 3.5.) Взаимодействие с атмосферой ограничивает использование накачиваемых ядерным взрывом лазеров высотами больше приблизительно 80 км. (Раздел 5.10.) Большое отношение энергия/вес ядерных зарядов делает возможным рассматривать подобные устройства в качестве космических «запалов». (Раздел 9.3.)

5. *По нашим оценкам ускорители пучков нейтральных частиц* (ПНЧ), *функционирующие на необходимом уровне величин токов* ($\geqslant$100 мА), *должны быть улучшены на два порядка величины по напряжению и рабочему циклу без увеличения нормализованной светимости пучка. При этом остается проблема достижения нужной точности наведения и скорости переключения на новую цель. Установка должна быть размещена в космосе во избежание потерь пучка, связанных с взаимодействием с атмосферой.*

Структурное поражение цели с помощью источника ПНЧ требует эквивалентного заряда около 1 Кул (т.е. 100 мА за 10 с) при энергии частиц в несколько сотен мегаэлектрон-вольт, расходимости пучка 0,75—1,5 мкрад. (Обсуждение и расчеты — в разделах 4.3 и 6.4.) Нарушение функционирова-

ния электроники из-за радиационного поражения может быть достигнуто при гораздо более умеренных параметрах пучка, хотя этот механизм поражения зависит от типа цели и оценка надежного поражения может оказаться более трудной. (Раздел 4.)

Существующие ускорители ионов с РЧ системой ускорения достигают энергий ускоряемых частиц в несколько сотен мегаэлектрон-вольт, при этом однако величина тока оказывается на два порядка величины ниже требуемой. (Раздел 4.3.) Новые источники отрицательных ионов достигают необходимого пикового тока и низкой светимости пучка, однако не сообщалось о работе таких источников в непрерывном режиме. Дополнительные проблемы связаны с ростом светимости высокотоковых пучков в низкоэнергетических секциях ускорителей и необходимостью разработки громоздкой внутриканальной магнитной оптики. Требования к мощности питания и вес также представляют значительную проблему. (Раздел 8.).

Минимальная высота функционирования определяется ионизацией нейтральных атомов в атмосфере за счет столкновений (и, следовательно, отклонением ионов в магнитном поле земли) и для кинетической энергии в пучке около нескольких сотен мегаэлектрон-вольт составляет приблизительно 120 км. (Раздел 4.1.)

Чтобы воспользоваться преимуществом скопления ПНЧ-платформ, предназначенных для поражения в стадии вывода ракеты на траекторию, предлагается использовать ПНЧ-системы также для активной дискриминации целей в средней фазе траектории (для идентификации массивных боеголовок в предполагаемом скоплении угрожающих объектов, содержащих также камуфляжные легкие тела). В этом случае требования к пучку существенно не изменяются, однако время освещения цели может быть уменьшено в 10—100 раз, а частота переключения с цели на цель может оказаться достаточной на уровне более 10 $с^{-1}$. Таким образом, вопросами, которые потребуют новых идей и дальнейшей разработки для обсуждаемых установок, служат разработка быстрого переключения с цели на цель с использованием магнитной системы управления лучом и методы точного и быстрого определения направления пучка. (Раздел 7.7.)

6. *Чтобы избежать отклонения в магнитном поле Земли, пучки энергичных электронов должны распространиться в плазменных каналах, созданных лазерами: это ограничивает высоту функционирования со стороны малых высот неустойчивостями пучка, а со стороны больших высот — уменьшением плотности ионов в канале. Мы оцениваем, что для поражения в фазе вывода на траекторию требуется увеличение ускоряющего напряжения, по крайней мере, на порядок величины, продолжительности импульса — на два порядка и средней мощности, по крайней мере, на три порядка величины. Для активного распознавания целей требуется увеличение длительности импульса, по крайней мере, на два порядка величины и увеличение средней мощности, по крайней мере, на порядок величины. Требуется разработка лазеров, необходимых для создания плазменных каналов. Мы оцениваем, что дальность распространения* (*протяженность плазменных каналов*) *должна быть увеличена на несколько порядков величины.*

Необходимость распространения пучка в созданных лазерами плазменных каналах диктуется задачей избежания отклонения пучка в магнитном поле Земли и его раздувании за счет кулоновских сил. Это налагает ограничения как на максимальную, так и на минимальную высоту функционирования метода. Нижняя граница связана с неустойчивостью пучка, а верхняя — с низкой ионной плотностью. Соответствующий механизм канализирования пучка был успешно продемонстрирован в лаборатории, однако только для расстояния 95 м [8]. (Раздел 4.2.) Для оптимального тока в пучке порядка нескольких килоампер и для поражающего действия пучка на расстояниях более 1000 км потребуется кинетическая энергия электронов в пучке поряд-

ка нескольких сотен мегаэлектрон-вольт. Эффективный радиус некоторых предложенных активных способов распознавания может быть не более нескольких сотен километров, и в этом случае требования к энергии частиц уменьшаются на порядок (Раздел 7.7.) Существующие линейные индукционные ускорители продемонстрировали достижимость необходимой пиковой мощности (десятки мегаэлектрон-вольт при пиковых токах в десятки килоампер и частоте повторения импульсов в несколько герц), однако не для требуемой длительности импульсов порядка микросекунд (Раздел 4.2.)

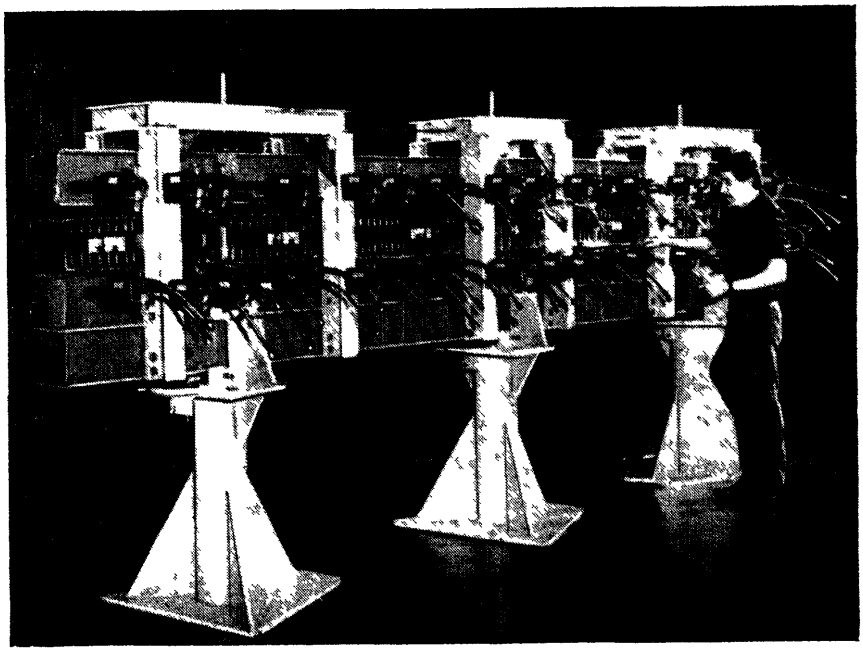

Рис. 5. Секция виглера лазера на свободных электронах, действующего в Лос-Аламосской Национальной лаборатории.

Электронный пучок от ускорителя вводится в канал виглера, при движении электронов по вакуумному каналу в виглере они подвергаются действию перпендикулярного каналу и меняющегося в пространстве магнитного поля. Электроны под действием этого поля совершают колебательные движения относительно оси канала и испускают электромагнитное излучение

Хотя было предложено несколько подходов к проблеме, однако еще не удалось продемонстрировать лазерную технологию, требуемую для создания плазменных каналов. Из-за ограниченности времени на уничтожение цели оказываются существенными проблемы быстрой смены цели (~0,1 с) и высокая частота повторения импульсов ($\geqslant$10 Гц).

7. *Для функционирования большинства разновидностей лазерного оружия с расходимостью пучка, близкой к дифракционному пределу, требуется техника фазовой коррекции Более того, техника фазового контроля требуется для когерентного связывания выходов различных модулей множественных лазерных систем для получения пучка, расходимость которого определяется дифракционным пределом. Соответствующие техники, продемонстрированные при низких мощностях, необходимы и в случае мощностей, ббльших на много порядков величины.*

Похоже на то, что лазерные системы высокой мощности потребуют активного контроля и коррекции оптической фазы выходного пучка с целью достижения для него почти дифракционного предела, желательного для применений в стратегической обороне. Для этого имеется несколько техник. Они включают коррекцию медленно изменяющейся фазовой несогласован-

ности при низкой пространственной частоте ее модуляции путем использования адаптивной оптики и самокоррекции фазовых ошибок. Коррекция осуществляется путем использования нелинейной техники обращения волнового фронта, такой, как вынужденно мандельштам-бриллюэновское рассеяние или четырехволновое смешение, а также путем объединения лучей от многих лазерных модулей с синхронизацией фазы или с помощью вынужденного

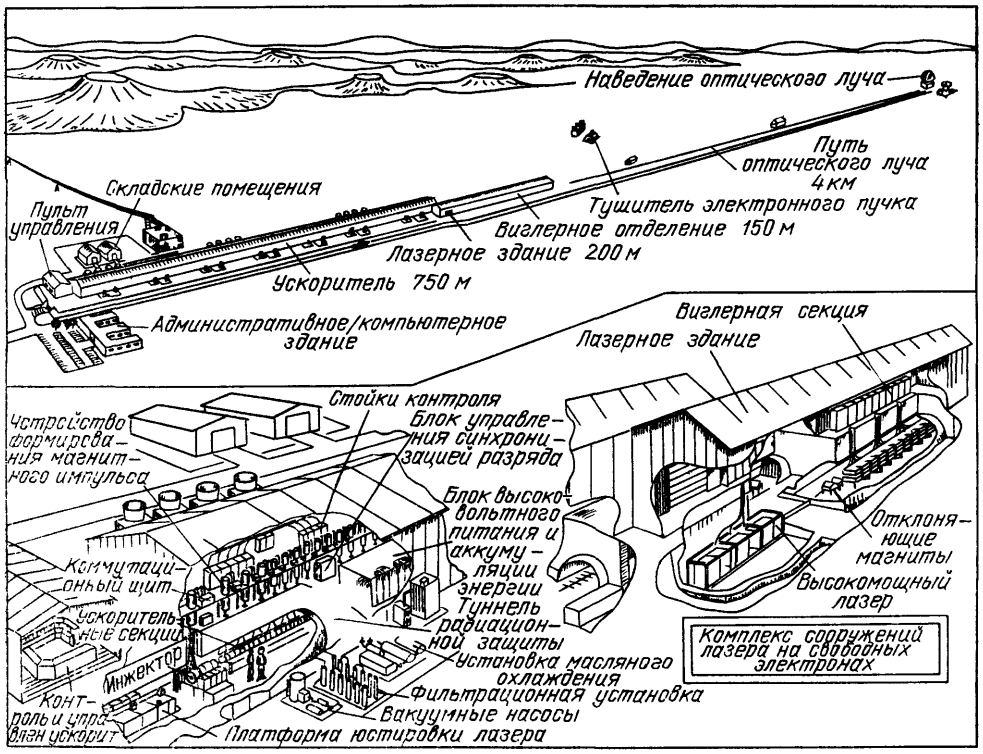

Рис. 6. Схема одного из двух предложений Национальной лаборатории им. Лоренса в Ливерморе по созданию ЛСЭ, которые обсуждаются на предмет его сооружения на полигоне Миссайл-Рэндж в Уайт-Сэндс.

В этом ЛСЭ используется индукционный ускоритель. В Лос-Аламосском ЛСЭ, показанном на рис. 5, используется радиочастотный ускоритель

рамановского рассеяния. В каждой из развивающихся лазерных технологий можно использовать различные типы фазовой коррекции. Все из названных методов фазовой коррекции продемонстрированы в лабораторном масштабе, однако возможность перехода к системам высокой мощности и больших апертур еще предстоит продемонстрировать.

8. *С целью получения оптических систем с эффективно большими апертурами требуется интенсивное развитие методов динамической фазировки совокупности телескопов. Как показывают вычисления* (*раздел* 5.4.5), *число элементов фазовой коррекции должно быть увеличено, по крайней мере, на два порядка величины по сравнению с их числом в уже демонстрировавшихся системах.*

Оптические лазерные системы потребуют больших эффективных оптических апертур, чтобы достичь необходимой интенсивности луча на цели. Такие апертуры для испускаемого луча должны обеспечивать почти дифракционный предел и допускать быстрое перенацеливание луча. Состояние дел здесь таково, что в астрономических применениях для размещенных на Земле систем, функциональными единицами в которых являются жесткие теле-

скопы, достигнута апертура около 8 м[9]. Требования к вращению больших телескопов для быстрого управления ограничивают такие телескопы размерами апертуры приблизительно в 8 м. Для функциональных единиц с большими эффективными апертурами требуется объединение методами динамической фазировки нескольких меньших телескопов. Такое фазирование нескольких телескопов выполнено [10] путем динамического контроля волнового фронта, наклона и фокусировки лазерных пучков, питающих каждый из телескопов в системе. Это усложняет систему, однако позволяет направлять луч для слежения за целью, избегая увеличения числа телескопов. (Раздел 5.2.) В таких фазирующих схемах фазовым фронтом выходящей волны управляют и вносят в него коррекцию посредством электрически возбуждаемого активатора. Компоненты для контроля за семью сотнями таких активаторов могут быть получены по коммерческим каналам. Для больших апертур, ожидаемых для применений в ПРО, необходимое число активаторов находится в интервале от 10 до 100 тысяч, что требует существенной экстраполяции достигнутых результатов. Технология фазового контроля массива отдельных зеркал находится на ранней стадии развития. Увеличение до высоких величин мощности в таких массивах не проводилось. (Раздел 5.4.)

Альтернативный подход состоит в использовании телескопов, у которых элементарные составляющие сделаны из единой большой гибкой мембраны, которая должным образом деформируется многими активаторами. Этот принцип был продемонстрирован только для малых элементарных составляющих при низких уровнях мощности. Еще предстоит продемонстрировать возможность перехода к большим зеркалам при высоких мощностях. (Раздел 5.4.)

9. *Оптические покрытия больших главных зеркал особенно подвержены повреждениям в космически базируемых оптических подсистемах.*

Большое главное зеркало, направляющее лазерный луч к цели, особенно подвержено действию облучения от других лазеров (из произвольного направления). (Раздел 5.6.)

Основываясь на информации из коммерческих источников, мы пришли к заключению, что порог разрушения для отражающих покрытий по отношению к непрерывному облучению составляет по мощности около 100 Вт·см$^{-2}$. Для лазерных импульсов длительностью в несколько микросекунд или меньше порог повреждения составляет около 8 Дж·см$^{-2}$ поглощенной энергии, что соответствует пиковой мощности 10 МВт·см$^{-2}$. Соответствующие пороги повреждения приведены для длины волны лазера 3 мкм. (Раздел 6.2.) При воздействии лазером другой длины волны в видимом ближнем УФ или рентгеновском диапазоне порог повреждения может быть значительно ниже. Более того, существует возможность повреждения высокоотражающих покрытий энергичными частицами космического фона, т.е. МэВ-ными протонами и электронами во время длительного нахождения высокоотражающих зеркал в космосе.

10. *Небольшие вторичные зеркала в оптической цепочке высокомощных лазеров будут требовать очень слабо поглощающих покрытий и будут нуждаться в охлаждении.*

Требуемый уровень мощности для разрушения целей ПРО сделает необходимым охлаждение малых зеркал в оптической цепочке высокомощных лазеров для предупреждения их повреждения. Мощность луча 1 ГВт на зеркало площадью 100 см^2 соответствует мощности 10^7 Вт, приходящейся на 1 см^2. Поэтому здесь нужны высокоотражающие покрытия с поглощением менее 10^{-4}. Такие зеркала были продемонстрированы, поглощение у них 1 кВт·см$^{-2}$. Охлаждаемые кремниевые или карбидкремниевые зеркала дают надежду на увеличение соответствующего порога. (Раздел 5.5.)

11. *Базируемые на земле лазерные системы для применения в ПРО требуют размещения во многих географических точках, для того чтобы минимизировать влияние погодных условий.*

Для каждой базируемой на Земле лазерной системы, пригодной для боевых действий, необходимы географически разнесенные лазерные позиции, чтобы обеспечить действенность хотя бы одной из позиций во всей системе, если действие других блокировано неблагоприятными климатическими условиями. Соответствующие позиции должны быть разнесены на расстояния

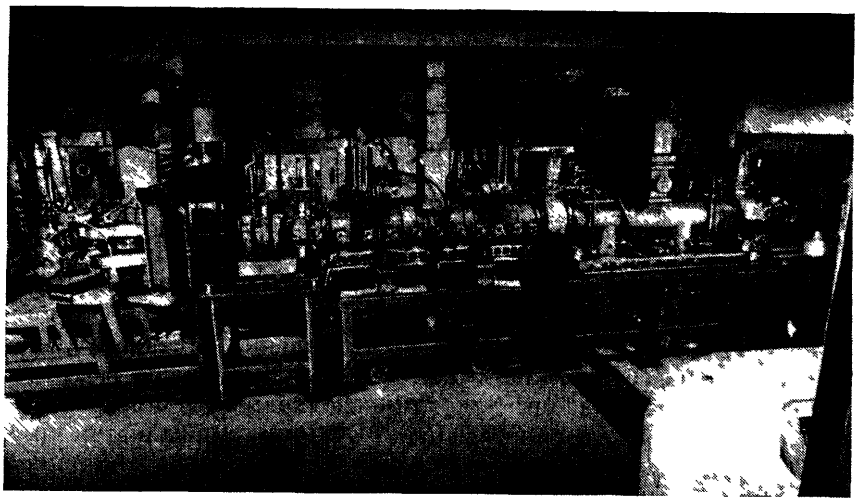

Рис 7. Испытательный стенд «Белая Лошадь» ускоритель для получения пучков нейтральных частиц в Лос-Аламосской Национальной лаборатории

Ускоритель производит пучок отрицательных ионов, избыточные электроны которых «обдираются» в газовой ячейке, давая пучок нейтральных частиц

больше, чем масштаб когерентности в типичной картине погоды. Основываясь на статистике погоды можно утверждать, что для пяти лазерных позиций вероятность функционирования системы составит 99,7 %. При переходе к семи климатически изолированным позициям возможно достижение соответствующей вероятностью величины 99,97 %. На каждой из этих позиций местные облачные условия требуют дальнейшего мультиплицирования больших наземных телескопов, путем разнесения их на несколько километров. (Раздел 5.4.)

12. *В лазерных системах наземного базирования требуются техники для коррекции атмосферных аберраций при распространении. По нашим оценкам эти методы должны быть улучшены, по крайней мере, на два порядка величины по разрешению (числу активаторов) по сравнению с продемонстрированным на сегодня. Техника фазовой коррекции должна быть продемонстрирована при высоких мощностям.*

Лазерные системы наземного базирования потребуют либо линейной, либо нелинейной адаптивной оптики очень сложного типа для того, чтобы сформировать лазерный луч, эффективно оказывающийся свободным от атмосферных аберраций, вызванных турбулентностью атмосферы, и теплового рассеяния, вызванного самим лазерным лучом. Обратный отражатель или лазер малой мощности, расположенный в подходящем месте перед релейным зеркалом космического базирования, должны обеспечить опорный источник для распространения через атмосферу на наземный телескоп, где волновой фронт должен быть проанализирован для получения информации об аберрациях, вызванных атмосферой. Этот анализ должен быть использован, чтобы активировать адаптивную оптику высокого разрешения ($\geqslant$10 000 ак-

тиваторов на апертуру) при широкой частотной полосе (~1 кГц). Эта техника требует большой мощности компьютеров. Такие эксперименты по компенсации атмосферных влияний были успешно выполнены при низких мощностях (в отсутствие теплового рассеяния в атмосфере) и при средних условиях видимости на горе Наликала в Мауи (умеренная турбулентность), с малым числом активаторов (<100). При больших уровнях мощности турбулентность может оказаться достаточно сильной, чтобы вызвать перераспределение интенсивности луча, которое может оказаться за пределами возможностей коррекции. (Разделы 5.2 и 5.4.) Включение схем фазовой коррекции в ЛСЭ усилителя на импульсном индукционном линейном ускорителе представляется особенно насущным, так как атмосферная компенсация должна быть проведена на высоком уровне мощности. Техника атмосферной компенсации также нужна для достаточно большого угла раствора в направлении на цель и для целей, которые могут оказаться некоррелированными в пространстве.

13. *Коммуникации в лазерной системе наземного базирования связаны с потерями в атмосфере.*

Передача мощного излучения от лазерной системы наземного базирования сталкивается с естественными атмосферными потерями, такими, как рэлеевское рассеяние, которое особенно существенно для коротковолновых систем, и потери на поглощение в атмосфере, в основном на водяном паре, которые особенно существенны для длинноволновых систем. Оптимальная область длин волны лежит в интервале 0,4—1,0 мкм. Даже в этом интервале нелинейные эффекты, такие, как вынужденное рамановское рассеяние и тепловое рассеяние, вынуждают использовать на земле передающие оптические системы большого размера.

14. *Процессы нелинейного рассеяния в атмосфере устанавливают ограничение на минимальную высоту, на которой цель еще может быть атакована лазерным лучом из космоса.*

Передача энергии вниз через атмосферу для поражения цели может ограничиваться вынужденным рамановским рассеянием и тепловым рассеянием, связанным с поглощением излучения озоном. Эти явления ограничивают минимальную высоту для атаки величиной 80 км для очень коротких импульсов или требуют более продолжительных импульсов (1—10 мс), так как лазерный луч должен быть сфокусированным на цели в малое пятно размером ~ 1 $м^2$. При требуемых высоких интенсивностях лазерного луча нелинейные эффекты могут вывести энергию светового пучка из области его фокусировки прежде, чем он достигнет цели. (Раздел 5.4.)

15. *Детектирование и лоцирование запуска МБР накладывают жесткие требования высокой вероятности обнаружения и низкой вероятности ошибочной тревоги.*

Достижение 90 %-ной вероятности уничтожения цели в фазе вывода на траекторию требует более высокой, чем 90 % вероятности обнаружения и лоцирования цели в этой фазе. В дополнение к этому успешное функционирование систем, нацеленных на среднюю фазу траектории, существенно зависит от получения информации о траекторных данных в стадии запуска. И даже бóльшую важность имеет обеспечение низкого уровня ошибочных тревог во избежание срабатывания системы ПРО в мирное время из-за ложной тревоги. (Раздел 7.2.)

16. *В фазе запуска ИК слежение за факелом ракеты должно быть также подкреплено другими средствами, чтобы обеспечить субмикрорадианную точность нацеливания, требуемую для ПО.*

Слежение за ракетами путем детектирования интенсивного коротковолнового инфракрасного излучения (КВИК) от факела ракеты представляет собой метод, который используют уже в течение некоторого времени. Яркость факела сильно превосходит яркость ракеты, а положение ракеты относительно факела сложным образом зависит от высоты, типа ракеты, вида ее двигателя, характеристик топлива и т.д., и поэтому это положение может быть изменено нападающей стороной непредсказуемым для обороняющейся

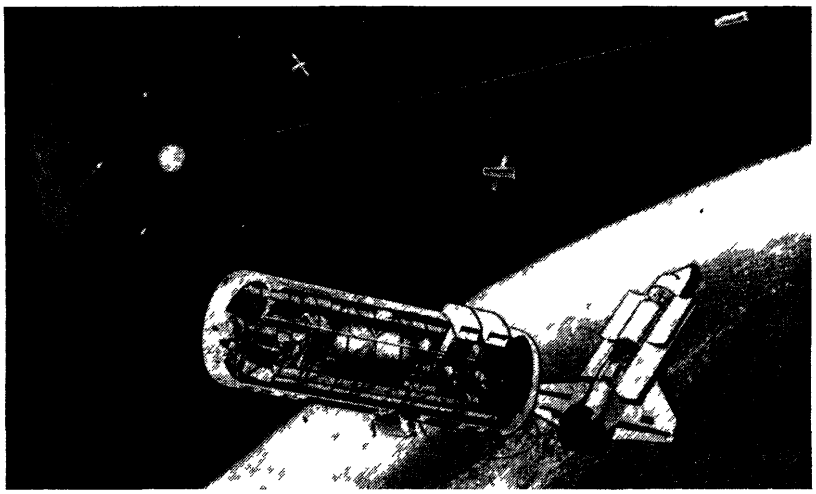

Рис. 8. Вывод в космос боевой станции, обеспечивающей пучок нейтральных частиц, в представлении художника.

Пучки нейтральных частиц не могут распространяться в атмосфере, так как в ней частицы стали бы ионизироваться и затем отклоняться в магнитном поле Земли. В отличие от лазеров, пучки частиц отдают свою энергию в объеме мишени а не на поверхности, как лазерный луч. Пучок нейтральных частиц низкой интенсивности может быть использован для дискриминации боеголовок и камуфляжных объектов или для повреждения двигательного устройства ракеты. Пучки высокой интенсивности могут, например, вызвать структурные разрушения боеголовки или эффективно повреждать ядерный заряд

стороны образом. Другие же пассивные методы точного лоцирования и слежения за ракетой в фазе ее вывода на траекторию находятся в начальной стадии развития. (Раздел 7.5.)

Здесь могут потребоваться активные методы слежения. Один из наиболее вероятных кандидатов для этого — микроволновый радар, который наиболее хорошо разработан, однако и электронные контрсредства против него также хорошо разработаны. Оптические радары могут оказаться здесь более многообещающими, если их луч можно будет быстро перенацеливать и будет достигнута способность получения ими изображения (любая из систем расстояние — эффект Допплера или угол падения — угол отражения будет достаточна). Если не сможет быть развито быстрое перенацеливание или требования к соотношению мощность — апертура для микроволновых радаров окажутся слишком жесткими, то потребуется от сотен до тысяч космических платформ.

17. *Потребуются активные сенсорные системы для точного слежения в поствыводной и средней фазе траектории.*

Наблюдение ПВР (поствыводной фазы ракеты) и боеголовки (при 300 K) потребует детектирования слабого термического сигнала, поскольку его интенсивность изменяется как T^4. Соответствующее излучение также присуще объектам в средней фазе траектории. Тепловые детекторы в диапазоне длинноволнового инфракрасного излучения (ДВИК) могут быть использованы только на фоне холодного неба, т.е. при их направленности выше ореола, существующего вокруг Земли. Низкошумовые ДВИК — детекторные массивы, имеющие необходимое разрешение, т.е. большой набор отдельных

детекторов, разрабатываются в настоящее время. Из-за большой рабочей длины волны (8—12 мкм) субмикрорадианная точность слежения в области ДВИК не возможна без применения телескопов с апертурой, превосходящей 10 м. (Раздел 7.2.) Таким образом, тепловые детекторы должны будут также быть поддержанными какими-то активными средствами слежения, такими, как микроволновые или оптические радары. Поэтому потребуется большое количество платформ космического базирования. Они могут быть совмещены с платформами, выполняющими аналогичные функции в фазе запуска. (Раздел 7.3.)

18. *Для средней фазы траектории, когда боеголовки окружены камуфляжными объектами, может потребоваться активное их обнаружение. В настоящее время применение технологии ПО к этой задаче находится только в стадии выработки концепций и начального эксперимента.*

Ракеты, которые прошли фазу вывода на траекторию, могут развернуть большое количество камуфляжных объектов и других средств содействия достижению цели. Так как ДВИК- и радарный сигналы зависят в основном от поверхностных явлений, то у атакующей стороны имеется много возможностей ввести в заблуждение обороняющую сторону или насытить возможности обороны (используя, например, баллоны). Технология пучкового оружия может представить средства «массовой» дискриминации объектов активными, возмущающими методами, например детектированием вызванной пучком частиц вторичной эмиссии или изменений скорости объектов, вызванной действием лазерного луча. Для этой цели могут быть полезны платформы, в функции которых не входят операции, связанные со стадией запуска ракет. Такой активный способ дискриминации находится в концептуальной и ранней экспериментальной стадиях развития и должен потребовать большого количества дополнительных сенсорно-детекторных платформ, рассчитанных на функционирования в условиях возмущающего воздействия ядерного взрыва. (Раздел 7.7.)

19. *Чрезвычайно желательна разработка эффективной обороны в фазе запуска ракет, и, возможно, она существенна для ограничения числа объектов, с которыми должна будет иметь дело оборона на средней и конечной фазе траектории.*

Учитывая имеющееся в настоящее время количество советских ракетоносителей и их возможности, следует считать, что в атаке может быть развернуто более полумиллиона угрожающих объектов (боеголовок и камуфляжных объектов). Потребуется уничтожение объектов в фазе запуска, если система дискриминации в средней фазе траектории может справиться только с ограниченным числом объектов. Даже при эффективности обороны в фазе запуска, достигающей 80 %, на среднюю фазу траектории придется 100 000 или более объектов. Если дальнейшее увеличение угрозы атакующей стороной или ухудшение функционирования эшелона обороны в фазе запуска перегрузит возможности следящей-дискриминирующей системы последующих эшелонов, то общее функционирование всей системы обороны ухудшится катастрофически, причем нелинейно при приближении ее к насыщению. Слежение и дискриминация при наличии от десятков до сотен тысяч объектов в средней фазе траектории приводит к огромным требованиям к сенсорам и компьютерам, управляющим действиями. Если дискриминация потребует слежения за объектами с момента их возникновения до момента разрушения, то это выдвигает еще более серьезные проблемы. (Раздел 2.3.)

20. *Поддержание текущего функционирования многих космических платформ для их применения в целях стратегической обороны вызовет необходимость в энергии, для удовлетворения которой потребуется ядерный источник энергии на каждой платформе.*

Требования энергии для «текущего функционирования», т.е. требования космической платформы, связанные с контролем ее ориентации, охлаждением зеркал, получением и передачей информации, с работой радаров и т.д., по оценкам находятся в интервале от 100 до 700 кВт мощности в непрерывном режиме. Это потребует ядерный источник энергии для каждой платформы, делая необходимым присутствие в космосе сотни или более ядерных

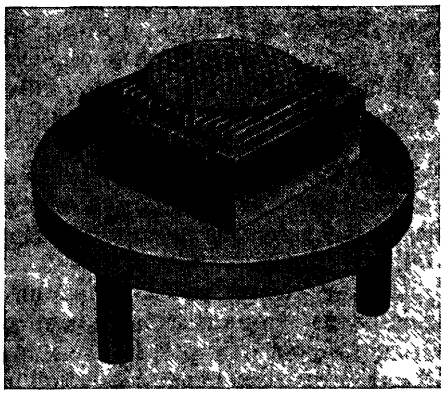

Рис. 9. Компонент адаптивной оптики, или «резиновое зеркало».

Чтобы распространяться нужным образом в турбулентной атмосфере, лазерные лучи должны обладать специальным образом сформированными волновыми фронтами. С помощью адаптивной оптики этого достигают путем перемещений отдельных составляющих зеркала, добиваясь такого фазового распределения на выходе пучка, который позволяет скомпенсировать фазовые изменения, вызванные атмосферной турбулентностью

реакторов. Эти предстоящие потребности выдвигают много сложных и пока что еще не исследовавшихся инженерных проблем. Охлаждение больших развернутых в космосе ядерных источников энергии представляет собой очень сложную проблему. (Раздел 8.)

21. *Основные энергетические потребности боевого функционирования развернутой в космосе и питаемой электричеством системы ПО представляют собой значительные технические препятствия.*

Основная мощность, требуемая для питаемой электричеством системы ПО, т.е. для ускорителя пучка частиц, оценивается в 1 ГВт. Такая мощность может быть обеспечена двигателями большой химической или ядерной ракеты и генераторами, развернутыми на значительном расстоянии или другим образом разъединенными с платформой ПО, чтобы избежать механических возмущений и помех от отработанных газов. Это может потребовать сложных систем передачи энергии, состоящих из кабелей, микроволновых систем и т.д. Соответственно потребление химического топлива составит более пяти тонн за минуту функционирования одной платформы. (Раздел 8.3.)

22. *Живучесть представляет собой существенное требование к любой системе ПРО, использующей элементы космического базирования. Возможность подобной неуязвимости в настоящее время находится под большим вопросом. Оценка соответствующих проблем требует системного подхода, который включает создание более стойких элементов, активную защиту и разработку тактики действий. В процессе развертывания элементы космического базирования оказываются особенно доступными для воздействий.*

На космических платформах размещаются сенсоры, оптические зеркала или антенны радаров, для многих из которых порог повреждения гораздо ниже, чем соответствующий порог для ракет-носителей, объектов поствыводной фазы и боеголовок. Хотя сенсоры и оптические зеркала на космических платформах могут быть защищены в их долгие нерабочие периоды, они должны быть приведены в рабочее состояние при сигнале тревоги перед надвигающейся МБР атакой. Такой атаке может предшествовать атака на эти платформы с помощью развернутого в космосе и на земле ПО, развернутого в космосе оружия кинетической энергии (ОКЭ), космических мин или запускав-

мого с земли ядерного или неядерного анти-спутникового оружия атакующей стороны. Более того система должна быть разворачиваемой путем постепенного введения в действие отдельных космических элементов, поскольку в это время возможности самозащиты системы малы. (Разделы 9.3 и 9.4.)

Развернутая на земле лазерная система для применений в стратегической обороне требует значительного количества оптических элементов и сенсоров космического базирования. Оптические элементы космического базирования включают в себя оптические телескопы с большими главными зеркалами, размеры и число которых зависят от основных мод релейных и боевых зеркал. Эти элементы космического базирования влекут за собой ту же самую подверженность поражениям как и любые другие компоненты космического базирования. (Раздел 9.3.)

23. *Вопросы живучести средств наземного базирования, также вызывает серьезные проблемы. Относительно небольшое количество больших устройств, связанных с местами наземного базирования лазеров, делает эти устройства ценными целями,*

Лазеры наземного базирования в установках ПРО должны быть надежно защищены от прямых атак многообразного характера (например, крылатых ракет, саботажа и т.д.) помимо атак баллистических ракет. Таким образом, любая система стратегической обороны, зависящая от лазеров наземного базирования или от других средств наземного базирования, которые не могут быть существенно рассредоточены, должны быть обеспечены эффективной защитой более чем только от угрозы баллистических ракет. (Раздел 9.3.)

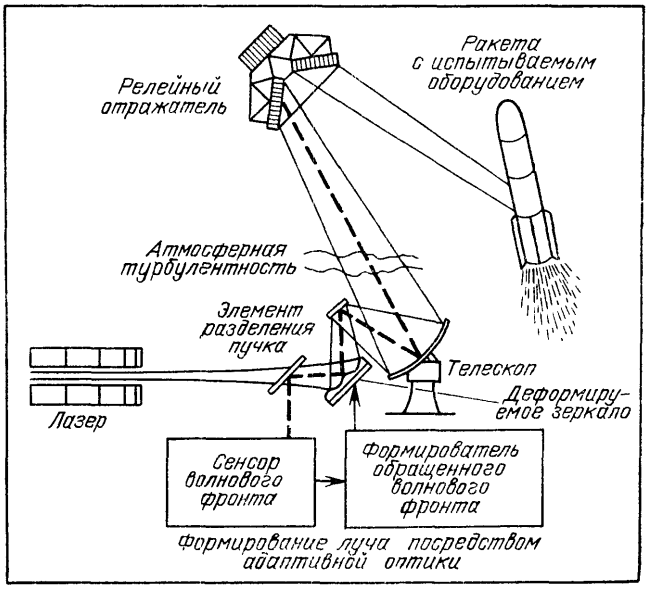

Рис. 10. Схематически показано, как адаптивная оптика (элемент которой изображен на предыдущем рисунке) может быть включена в лазерную систему наземного базирования.

Направляемый релейным зеркалом вниз луч, проходя через турбулентную среду, доставляет детектору информацию волнового фронта о том, как подавить турбулентные атмосферные помехи в мощном луче, направляемом в космос. Обработанная с помощью компьютера информация от детектора используется для управления адаптивной оптикой, которая создает нужный для компенсации турбулентных помех волновой фронт мощного пучка.

24. *Пучковое оружие с возможностями ниже тех, которые требуются во многих целях баллистической противоракетной обороны, тем не менее может угрожать развернутым в космосе элементам оборонительной системы.*

Если ПО по своим качествам неудовлетворительно для целей баллистической противоракетной обороны, оно тем не менее может представлять

существенную угрозу для элементов космического базирования. Платформы космического базирования движутся по известным орбитам и поэтому могут служить целями в течение гораздо большего интервала времени, чем ракеты-носители, поствыводные объекты и боеголовки. Оборонные платформы могут содержать ключевые элементы, которые гораздо легче подвержены повреждениям, чем ракеты-носители и боеголовки. Более того, платформы космического базирования в случае их низких орбит могут быть атакованы с меньших расстояний, чем те, которые доступны для перехвата в стадии вывода на орбиту. (Разделы 9.3 и 9.6.)

25. *Рентгеновский лазер, срабатывающий от ядерного взрыва, представляет особую угрозу развернутым в космосе сенсорам, электронике и оптике.*

Высокое отношение энергии к весу в ядерных взрывных устройствах, питающих пучковое оружие, позволяет использовать их как устройства, создающие помехи. По этой причине, если рентгеновский лазер будет создан, он представит особенно серьезную угрозу элементам ПРО космического базирования. (Разделы 3.5 и 9.3.)

26. *Так как потребуется продолжительное время для разработки и развертывания эффективной баллистической противоракетной обороны, то отсюда вытекает, что в распоряжении атакующей стороны будет значительное время для принятия противооборонных мер. Любая оборона должна быть рассчитана на то, чтобы быть в состоянии противостоять множеству противооборонительных мер, так как соответствующая конкретная мера не может быть точно предсказана до проведения развертывания системы.*

Должно быть достигнуто доскональное осознание возможных ответных мер атакующей стороны, таких, как атаки на элементы обороны, повышение стойкости к поражениям наступательной системы и быстрое развертывание большого числа камуфляжных объектов прежде, чем может быть сделано заключение о технической возможности создания оборонной системы и об отношении для нее цена/эффективность. Система ПО, рассчитанная на сегодняшние средства нападения, вероятно, будет неадекватна соответствующим средствам к моменту завершения ее развертывания. (Разделы 2.3 и 9.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. X-ray Lasers for Missile Defense// Defense Sci. and Engng. November 1986. P. 17—19.
2. U. S. Congress. Office of Technology Assessment// Ballistic Missile Defence Technologies. OTA-ISC-254.— Washington, D. C.: U. S. Governement Printing Office, September 1985.
3. IEEE Spectrum. September 1985. Spec. issue on «SDI: The Grand Experiment»; см. также цитированную там литературу.
4. См.: Mangano J. A., Jacobs J. H.// Appl. Phys. Lett. **1976.** V. 28. P. 724.
5. Orzchowski T. J. et al.// Phys. Rev. Lett. **1986.** V. 57. P. 2172.
6. См.: Kroll N. M. et al.// IEEE J. Quantum Electron. **1981.** V.QE-17. P. 1496.
7. Wallbridge E.// Nature. **1984.** V. 310. P. 180; Science. **1985.** V. 230. P. 647.
8. Caporaso G. J., Rainer F., Martin W. E., Prono D. S., Cole A. G.// Phys. Rev. Lett. **1986.** V. 57. P. 1594.
9. Townes C. H. (частное сообщение).
10. См. Marquet L.// Lasers'85: Proc. of Intern. Conference on Lasers'85/Ed. C. P. Wang.—McLean, Va: STS Press, 1986.—P. 247—252.
Fender J. S.// SPIE Proc. **1983.** V. 440.