

БУДЕТ ЛИ АМЕРИКАНСКАЯ ПРОГРАММА СОПРОВОЖДЕНИЯ АРСЕНАЛА НА НАУЧНОЙ ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЯТЬ УГРОЗУ ДЛЯ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ?

К.Е. Пейн и М.Г. МакКинзи

К.Е. Пейн является старшим научным сотрудником Совета по защите природных ресурсов (Вашингтон, округ Колумбия), а М.Г. Мак-Кинзи - научным сотрудником проекта той же организации.

ВВЕДЕНИЕ

Основное преимущество недавно подписанного, но все еще в основном не ратифицированного Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) в аспекте нераспространения ядерного оружия заключается в ограничениях, которые накладываются им на разработку в новых странах более эффективного оружия на чистом делении, оружия на делении с ускорением синтеза, и двухступенчатого термоядерного оружия. Чтобы уменьшить влияние ДВЗЯИ на ядерную позицию США, программа Департамента энергетики (ДЭ) сопровождения арсенала на научной основе (САНО) направлена на моделирование характеристик ядерного оружия "из первых принципов", что позволит уменьшить, или даже уничтожить совсем, историческую зависимость оружейной программы США от основанной на ядерных испытаниях эмпирики для подтверждения характеристик ядерных взрывных устройств и калибровки предсказаний программ конструирования ядерного оружия по результатам ядерных испытаний. В то время как ограничения ДВЗЯИ по нераспространению ядерного оружия в настоящее время выглядят довольно прочными, расширение исследований ядерного оружия по программе САНО будут иметь тенденцию к подрыванию преимуществ Договора в аспекте безопасности.

Прошлые государственные решения по передаче информации об оружии (графически иллюстрированные на Рис.1) были направлены на изменения текущей международной системы. В общем и в целом обоснованием таких действий было усиление союзника. Но союзы могут изменяться: Москва, например, стала сожалеть о своей ранней помощи Пекину по ядерному оружию. С течением времени Договор о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО) 1968 года установил консенсус, по которому ограничение числа государств, обладающих ядерным оружием, ранее появившимся пятью странами при стремлении к уничтожению ядерного оружия в отдаленной перспективе, будет способствовать международной безопасности. Статьи I и II ДНЯО в широком смысле запрещают любую передачу или получение информации, "которая может любым способом помочь" неядерному государству получить ядерное оружие.

Публично признанной целью программы САНО является разработка сложного компьютерного моделирования в качестве замены ядерных взрывов-испытаний характеристик систем оружия в целом. Эти усилия, сравнимые по масштабу с Манхэттенским проектом или программой "Аполлон", основаны на систематическом стремлении к фундаментальным продвижениям в каждой из составляющих дисциплин науки и техники ядерного оружия, включая возрастающую опору на несекретные (или частично секретные) эксперименты по синтезу с использованием широкого диапазона технологий иницирования¹ - включая взрывчатые вещества, недавно разработанные взрывчатые вещества с повышенным энерговыделением², импульсные источники со взрывчатыми веществами, импульсные источники с батареями электрических конденсаторов, пучков частиц и лазеров. Поскольку крупномасштабные ядерные взрывные процессы не будут больше доступны для работ по моделированию ядерного оружия в программе САНО, большие наборы данных по предыдущим испытаниям будут поме-

щены в архивы и будут использоваться вместе с микро-масштабными экспериментами по делению и синтезу, доступным как ядерным, так и неядерным государствам, как представлено в Табл.1.

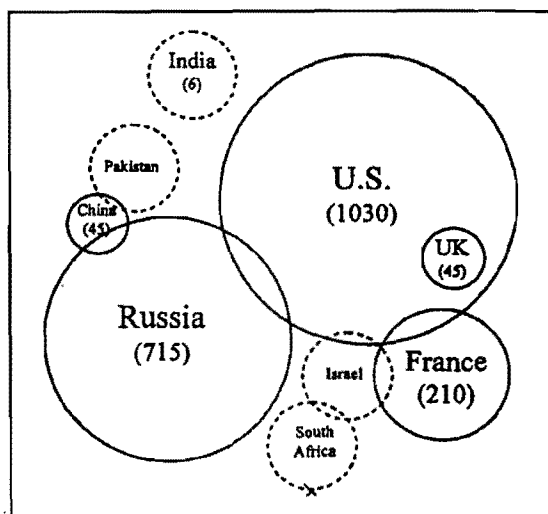


Рисунок 1. Диаграмма Венна, показывающая историю передачи информации по ядерному оружию между объявленными ядерными державами (сплошные окружности), необъявленными ядерными державами (штрихованные окружности) и Южной Африкой, бывшей необъявленной ядерной державой. В скобках приведено количество проведенных ядерных взрывов-испытаний. Область перекрытия не точно пропорциональна степени передачи информации, поскольку эту величину трудно выразить количественно. Перекрытие России и США отражает недавнее приобретение Оборонным агентством специальных вооружений США (посредством детально обсуждавшегося контракта) большого количества данных, касающихся бывшей программы испытаний СССР³. Передача информации от стран, обладающих ядерным оружием, неядерным государствам, которая может помочь последним "любым способом" получить ядерные взрывные устройства, запрещается статьями I и II Договора о нераспространении ядерного оружия.

Особенности САНО представляют особую угрозу для нераспространения ядерного оружия, которая может способствовать приобретению опыта, полезного для создания ядерного оружия, другими странами. Конечно, будет ли этот опыт в конце концов воплощен в реальное оружие, будет зависеть в каждом конкретном случае от развития конкретных политических обстоятельств. Но в неустойчивом мире, заполненном бурлящими конфликтами и резким неравенством внутри наций и между странами, перспективы распространения даже скрытых возможностей к конструированию и разработке улучшенного оружия на делении ядер или термоядерного оружия вряд ли будут восприниматься с безразличием.

Таблица 1. Доступ к научным экспериментам по ядерному оружию в рамках договоров ДНЯО и ДВЗЯИ.

Доступ к:	Ядерные Державы по ДНЯО	Пороговые Государства по ДВЗЯИ	Неядерные державы по ДНЯО
Результаты прошлых ядерных испытаний.	ДА	НЕЗНАЧИТЕЛЬНО ^А	Нет, но они подвергаются опасности шпионажа и передачи от страны к стране.
Критические сборки на быстрых нейтронах и импульсные реакторы.	ДА	ДА	Да, в контексте программы атомной энергетики или фундаментальных исследований.
Синтез и/или деление с инициированием лазером или пучком частиц.	ДА	ДА	Да, на основании американского заявления на конференции 1975 г. по обзору ДНЯО ^В .
Импульсные энергетические эксперименты с электромагнитным инициированием или с инициированием взрывчатыми веществами.	ДА	ДА	Статус таких устройств никогда не рассматривался в рамках режима ДНЯО.
Эксперименты с материалами для ядерного синтеза с инициированием взрывчатыми веществами.	ДА	ДА	Да, на основании польского и канадского прецедентов и немецкого одностороннего заявления 1996 г. ^С
Эксперименты с заменителями (например, ураном-238 или танталом) с инициированием взрывчатыми веществами.	ДА	ДА	Да, если назначение эксперимента имеет строгое научное или техническое обоснование, не связанное с разработкой ядерного оружия.

^А В отношении возможных пороговых государств по отношению к ДВЗЯИ, Индия провела одно известное полномасштабное ядерное испытание; по сообщениям, Пакистан получил проверенные в испытаниях данные по разработке ядерного оружия от Китая, а израильские специалисты по ядерному оружию участвовали в ранних французских ядерных испытаниях в Алжире и, вероятно, но не доказано, провели полномасштабное ядерное испытание в Южной Атлантике в 1979 г., наряду со взрывами малой мощности, скрыто проводившимися в пещерах в пустыне Негев в течение длительного периода.

^В В одностороннем заявлении США на обзорной конференции 1975 г. по ДНЯО, не встретившем возражений, выражается мнение, что "ядерные реакции деления или синтеза, инициируемые лазером или пучками частиц в мишенях миллиметрового размера, в которых происходит исключительно быстрое выделение энергии... с неразрушающим удержанием в соответствующем контейнере... не представляющие собой ядерного устройства в смысле ДНЯО". Текст полного заявления можно найти в *The National Ignition Facility and The Issue of Nonproliferation, Final Study Prepared by the U.S. Department of Energy, Office of Arms Control and Nonproliferation, (December 19, 1995), p. 35.*

^С "Польский" прецедент относится к исследованию инициируемого взрывчатыми веществами синтеза, результаты которого были опубликованы в 70-х г.г. группой под руководством Сильвестра Кольски (1925-1978) из Института фундаментальных технических исследований в Варшаве. Хотя издания, в которых публиковались эти результаты (в основном *Bulletin d'Academie Polonaise des Sciences, Proceedings of Vibration Problems, Archivum Mechaniki Stasovane, Journal of Technical Physics, Polish Academy of Sciences* (в последнем журнале Кольски был главным редактором) малодоступны на Западе, в Лос-Аламосе в 1979 г. был выпущен отчет с описанием этих работ: J. Marshall, "Kolski's explosive driven fusion experiments", LA-UR-79-1835. Кольски был членом Польской объединенной рабочей партии и парламента Польши. Польша представила свои ратификационные грамоты ДНЯО в июне 1969 г. и подписала ДВЗЯИ в сентябре 1996 г.

"Канадский" прецедент относится к статье 1982 г. в журнале *Physics of Fluids, Vol. 25, (February, 1982)* И.И. Гласса и Д. Сэйджи из Института аэрокосмических исследований Университета в Торонто, Канада, под заглавием "Приложения инициируемой взрывчатыми веществами импlosion к синтезу". Канада представила свои ратификационные грамоты ДНЯО в январе 1969 г. и подписала ДВЗЯИ в сентябре 1996 г.

При подписании ДВЗЯИ Германия сделала следующее заявление: "Германское правительство считает, что никакие положения настоящего Договора не могут быть истолкованы или использованы таким образом, чтобы предубеждать против или препятствовать исследованиям по управляемому термоядерному синтезу или его экономическому использованию", "XXVL4 Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty", United Nations Status Document on the CTBT, (Doc. A/50/1027), (August 1997), p. 100.

СОПРОВОЖДЕНИЕ АРСЕНАЛА НА НАУЧНОЙ ОСНОВЕ ("ВИРТУАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ")

Руководящие работники Департамента энергетики и национальных лабораторий по разработке оружия неоднократно заявляли, что главной задачей программы САНО должно стать получение возможности "вычислительных испытаний оружия - виртуальных испытаний" как части "долгосрочной стратегии Департамента энергетики перевода конструирования ядерного оружия с базы испытаний на базу моделирования"⁴. Впоследствии секре-

тарь Департамента энергетики Хезел О'Лири приветствовала подписание финансируемого ДЭ контракта с корпорацией "Интел" в 1995 г. для разработки самого мощного в мире суперкомпьютера для Национальной лаборатории Сандия, заметив: "Компьютеры такого масштаба открывают возможность моделирования испытаний ядерного оружия в лаборатории. Эти усилия иллюстрируют шаг в направлении к нашей программе сопровождения арсенала на научной основе"⁵. А д-р Джон Хопсон, менеджер программы расчета оружия и вычислительной физики в Лос-Аламосской национальной лаборатории, сообщил в

1996 года комиссии Национальной Академии Наук, что моделирование оценки соответствия при сопровождении арсенала, скорее всего, будут более трудными, чем те, которые нужны для конструирования ядерного оружия. Они должны быть полностью трехмерными, проводиться с высоким разрешением, и должны быть основаны на фундаментальных физических принципах без "настроечных параметров" (т.е., эмпирически измеренных калибровочных факторов) любого рода. Будущие программы должны обладать возможностью моделирования системы в целом интегрированным способом⁶.

Стратегия программы САНО была подытожена в отчете научной консультативной группы корпорации "Джейсон/Митре" от февраля 1996 г. под заглавием "Предварительный анализ контроля и сопровождения арсенала" следующим образом:

"Программа контроля и сопровождения арсенала зависит от повышения нашей способности понимания конструирования и изготовления ядерного оружия на научной основе. Эта задача не имеет обозримых пределов... Исследования и прогресс в направлении новых более продвинутых технологий и установок в добавление к нашему пониманию как первичных, так и вторичных компонентов важен для будущего."⁸

Однако, в исследовании группы "Джейсон" от января 1998 г. основное внимание уделялось уже тому, что называлось более близкими приоритетными задачами САНО (на 5-10 лет вперед), которые можно сформулировать как: влияние старения связующего вещества на структуру взрывчатого вещества; эксперименты со старым плутонием-239 оружейного качества; подкритические эксперименты для изучения возможного различия между старым и новым плутонием; испытания и модернизация компонентов, находящихся вне ядерной сборки; и контроль за состоянием вторичных компонентов. В отчете приводится также мягкая критика текущего обоснования программы САНО:

"Необходимо своевременно выполнить эти приоритетные задачи... Для того, чтобы сделать это, необходимо обеспечить сильное и эффективное руководство (как в трех лабораториях по разработке ядерного оружия, так и в Департаменте энергетики в Вашингтоне) для выбора программных целей и для выделения необходимых ресурсов среди и внутри трех лабораторий по разработке ядерного оружия. Индивидуальные программы, представленные нам тремя лабораториями, не демонстрируют сбалансированности, направленности и координации, соответствующих этим требованиям... Особенно важно... координировать и обеспечить согласованность различных действий по сопровождению, (усиленному) наблюдению и обслуживанию... Мы отмечаем, что такая структура сопровождения, явно присутствующая на новых больших установках, должна в долгосрочном плане стать важной составляющей программы сопровождения."⁹

Долгосрочная стратегия программы САНО с ее направленностью на "виртуальные испытания" в настоящее время реализуется с заметно усиливающимся сотрудничеством между специалистами по ядерному оружию и открытой научной общественностью с сопутствующим риском распространения знаний о термоядерном оружии. Это происходит по ряду причин, и в разных компонентах программы САНО. В последующих разделах этой статьи обсуждается то, как влияют на нераспространение ядерного оружия следующие действия по программе САНО:

- Возрастающая роль внешнего рецензирования и открытая публикация исследований по физике оружия.
- Интеграция исследований в лабораториях по разработке ядерного оружия с несекретным научным сообществом, и наоборот, в первую очередь, под эги-

дой программы академического стратегического альянса (ПАСА).

- Агрессивная программа по синтезу с инерциальным удержанием (СИУ), инициируемого пучками, и исследований по электромагнитной импульсной энергетике.
- Продолжение исследований по альтернативным методам инициирования взрывного высвобождения энергии синтеза, включающими прямую имплозию взрывчатыми веществами, сжатие магнитного потока под действием взрывчатых веществ, и подход к инициированию реакций синтеза в плотной горячей плазме под действием импульсной электрической энергии.

Мимоходом мы отметим два других направления развития программы САНО, с возможными серьезными последствиями для нераспространения (но не будем обсуждать их в последующем тексте):

- Перенос секретных программ по разработке ядерного оружия с остающихся векторов суперкомпьютеров 80-х г.г. на менее ограничиваемые распределенные сети суперкомпьютеров, основанных на "Массивной параллельной обработке" (МПО), в которой используются коммерчески доступные микропроцессоры и операционные системы.
- Разработка трехмерных "твердых моделей" компонентов ядерного оружия и систем в целом на средствах автоматического проектирования для сопровождения высокоавтоматизированными производственными процессами и обмен этими файлами по якобы безопасным сетям.

ПРОГРАММА САНО: "ТЕХНИЧЕСКОЕ СДЕРЖИВАНИЕ" И "ВНЕШНЕЕ" РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ

Пути, по которым внутренний потенциал распространения ядерного оружия программы САНО может реально повлиять на возможности других стран, будут зависеть, в частности, так же, как это было в прошлом, от эволюции политики правительства, министерства и лабораторий в отношении распространения методов и результатов исследований в области ядерного оружия. Недавно д-р Стивен Юнгер, директор по технологии ядерного оружия Лос-Аламосской национальной лаборатории (ЛАНЛ), первой национальной лаборатории по разработке ядерного оружия, развивал новые концепции "видимого технического сдерживания", предназначенные для замены открытых проявлений сдерживания времен холодной войны, таких, как ядерные испытания и состояние повышенной готовности военных сил, и несекретное "внешнее" рецензирование в фундаментальных исследованиях по ядерному оружию, предназначенное для замены ядерных испытаний в качестве "главного арбитра" научного суждения. С тех пор эти концепции использовались в выступлениях лидеров других лабораторий¹⁰, и они ясно указывают на повышенную опасность распространения результатов и опыта, полученных в ходе выполнения программы САНО.

По поводу "технического сдерживания" д-р Юнгер писал:

"Во время холодной войны наши ядерные силы были видимы как во время летных испытаний, так и во время ядерных испытаний, наблюдаемых на сейсмологических станциях по всему земному шару. Никто не сомневался в возможностях нашего ядерного оружия. Как мы сможем поддержать тот же уровень видимой уверенности в нашем ядерном арсенале в отсутствие подземных испытаний?..

Как мне представляется, в конце холодной войны лаборатории по разработке ядерного оружия получили новую задачу. Теперь мы должны не только поддерживать арсеналы, но и делать это таким образом, чтобы это было заметно миру, так, чтобы продемонстрировать нашу техническую компетентность в научных и инженерных вопросах, очевидно

относящихся к области ядерного оружия... наши работы по "Пегасу" (существующая установка программы САНО в ЛАНЛ) могут быть доложены, и такие эксперименты должны ясно продемонстрировать наше умение сообществу, традиционно поддерживаемому программами ядерных вооружений почти каждой ядерной державы. Иностранцы ученые видят нас на конференциях, видят, что мы выполняем работы на самом переднем крае, и замечают, что мы не представляем всех своих результатов, может быть, из-за секретности. Таким способом можно завоевать техническое уважение. Наше присутствие в международном научном сообществе не является проявлением принципа "напечатать или погибнуть" - оно является видимой демонстрацией возможностей, которую можно назвать "техническим сдерживанием". Это часть нашей работы."¹¹

Другим потенциальным стимулом для распространения внутри программы САНО является мнение, по которому в настоящее время более важно оценивать техническую компетентность ученых, работающих в области ядерного оружия, при помощи рецензентов из внешнего мира, чем это было во времена проведения ядерных испытаний. Это стремление к внешнему рецензированию исследований по сопровождению арсенала было недавно объяснено д-ром Юнгером следующим образом:

"В прошлом испытательный полигон в Неваде (ИПН) был главным арбитром технических споров. Неважно, насколько убедительными были аргументы, ИПН оперировал фактами. Сейчас, когда возможность проведения интегрированных ядерных испытаний отсутствует, мы должны использовать другие механизмы для убеждения в том, что наши аргументы не только разумны, но и на самом деле правильны. Конечно, нам здесь помогут наземные эксперименты, но мы должны искать и другие способы для того, чтобы убедиться, что мы так же хороши, как мы о себе говорим.

Один из важных способов достижения такой цели заключается в нашем взаимодействии с внешним научным сообществом. Поскольку некоторые из наших научных работ в настоящее время стали не секретными, в особенности на уровне основных физических принципов, мы можем использовать процесс рецензирования для оценки качества нашей работы. Если исследовательская группа способна регулярно выпускать работы, принимаемые в престижных журналах, и ее приглашают представлять эти работы на конференциях, то мы можем быть с достаточной степенью уверены в том, что эта группа считается достаточно сильной для того, чтобы ее слушали люди, мало заинтересованные в политике, или в финансировании конкурентов."¹²

В Питтсбурге, штат Пенсильвания, с 17 по 21 ноября 1997 года было проведено ежегодное совещание отделения физики плазмы Американского физического общества¹³. Помимо многих участников из академической среды, в нем участвовали представители из многих исследовательских центров по разработке ядерного оружия - таких, как Лос-Аламосская национальная лаборатория, Ливерморская национальная лаборатория им. Лоуренса, Национальная лаборатория Сандия, Комиссариат по атомной энергии (Франция), Сопровождение по атомному оружию в Олдермастоне (Англия), и Ядерный исследовательский центр "Негев" (Израиль); они говорили о текущих исследованиях в различных областях физики плазмы, включая гидродинамику, уравнение состояния, физику отклонения от локального термодинамического равновесия, синтеза с инерциальным удержанием, и z-пинчей. Включая работу в совместных коллективах, сотрудники центров по разработке ядерного оружия давали 60 процентов обзорных докладов по синтезу с инерциальным удержанием, 68 процентов устных докладов на трех сессиях по гидродинамике, и 100 процентов устных докладов на сессиях по "полостям", уравнениям

состояния и синтезу с инерциальным удержанием.

На этом ежегодном совещании отделения по физике плазмы, Роберт Кобл из Ливермора представил доклад под названием "Измерения уравнения состояния материалов аблятора поджигаемой капсулы НИФ"¹⁴ о работе, которая впоследствии была опубликована в журнале *Physical Review Letters*¹⁵. Эти эксперименты, показанные на рис. 2 и более подробно рассматриваемые в сноске 14, были выполнены на лазере "Нова" Ливерморской лаборатории. В своем докладе Кобл сравнивал результаты измерений уравнения состояния для полистирола (CH) и бериллия (Be) с библиотеками уравнений состояния (УС) Лос-Аламоса и Ливермора, и с данными ядерных испытаний. Было обнаружено, что из трех библиотек УС, имеющихся в национальных лабораториях (в докладе на них ссылаются как на "QEOS", "Sesame" и "LLNL-EOS") две первые хорошо согласуются с данными измерений в диапазоне от 10 до 40 Мбар, а у последней наблюдаются различия. В отношении данных из ядерных испытаний говорится следующее: "Результаты абсолютных измерений по Be с лазерной нагрузкой подтверждают полученные ранее данные подгонки импеданса для Be и указывают на то, что полный набор данных для ядерной нагрузки, включая данные по адиабатам Гюгонио для нескольких материалов и давлений до 65 Мбар, является точным."¹⁷ Графическое сравнение данных ядерных испытаний и результатов измерений на установке "Нова" приведено в статье в *Physical Review Letters*.

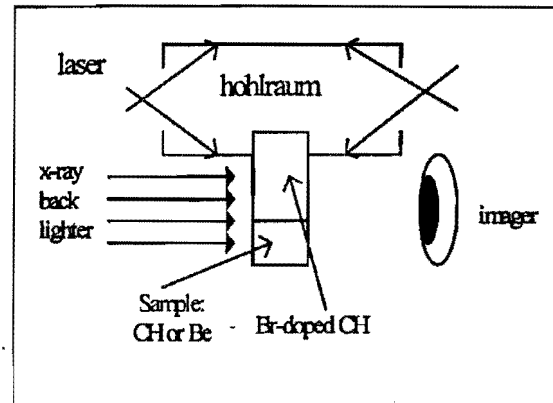


Рисунок 2. Эскиз экспериментальной установки, описанной Робертом Коблом из Ливермора на ежегодном совещании отделения по физике плазмы 1997 года.

Доклад Кобла и последующая статья служат иллюстрацией нескольких главных аспектов программы САНО: новые экспериментальные методы используются для повышения качества и для интерпретации данных прошлых испытаний ядерных взрывных устройств; эксперименты по программе САНО используются для калибровки программ расчета параметров ядерного оружия и для уточнения физических моделей, на которых они основаны; и некоторые из этих исследований, которые уменьшают зависимость ДЭ от проведения ядерных испытаний для выполнения своих целей, делаются доступными для широкой научной общественности. Принимая во внимание как внутренние возможности программы САНО, так и стремление к "видимому техническому сдерживанию" и "внешнему рецензированию", которые, как сейчас представляется, внедряются в программу САНО, можно обоснованно утверждать, что эта программа увеличит объем знаний, передаваемых другим нациям и субнациональным группам через публикации в открытой литературе, доклады и обсуждения на научных и технических совещаниях, и будет стимулировать инвестиции в аналогичные имеющие отношение к ядерному оружию установки в других странах.

Эти возможности распространения усиливаются тем обстоятельством, что программа САНО сейчас включает международные соглашения по "кооперативному под-

держанию" с Великобританией и Францией, и совместные экспериментальные программы по импульсному энерговыделению с иницированием электромагнитной энергией или взрывчатыми веществами с российскими лабораториями по разработке ядерного оружия. Концепции эксплуатации "Национальной установки для поджига" включают планы сотрудничества с многими странами как в секретных, так и в несекретных направлениях.

Д-р Джон Иммеле (директор программы оружейной технологии ЛАНЛ в 1981-1996 г.г., а в настоящее время старший технический советник главного архитектора программы сопровождения арсенала, помощника секретаря Департамента энергетики Вика Рейса) сообщил на конференции, проводившейся в Лос-Аламосе в апреле 1996 года, что исследуется "кооперативное сопровождение со стороны всех основных ядерных держав - не только сопровождение ядерного оружия, но и сопровождение технологий, которые подкрепляют сдерживание, сопровождение самого режима"¹⁸. Это замечание приоткрывает беспечную перспективу того, что программа САНУ руководствуется не только добросовестными техническими требованиями поддержания безопасности и надежности уменьшающегося ядерного арсенала, но не в меньшей степени узкими и в основном скрытыми институциональными императивами поддержания инфраструктуры лабораторий времен холодной войны. В таких обстоятельствах принятие решений по программе САНУ в агентстве, перегруженное институциональными императивами самосохранения, вряд ли будет придавать достаточное значение опасениям нераспространения.

ПРОГРАММА АКАДЕМИЧЕСКОГО СТРАТЕГИЧЕСКОГО АЛЬЯНСА ДЕПАРТАМЕНТА ЭНЕРГЕТИКИ

Ускоренная стратегическая вычислительная инициатива (УСВИ) в рамках программы САНУ предусматривает приобретение суперкомпьютеров, другой компьютерной и коммуникационной материальной части, и разработку математического обеспечения для ядерного оружия. УСВИ представляет собой главную программную реализацию описанной выше стратегии "виртуальных испытаний". Согласно сводке пятилетнего бюджета, приведенной в представленной в Конгресс заявке Департамента энергетики на 1999 финансовый год, в течение 1997-2003 финансовых лет ДЭ собирается потратить четыре миллиарда долларов на вычисления для ядерного оружия. Доля статьи "УВСИ и вычисления для арсенала" в общем бюджете "Общего сопровождения арсенала" увеличивается с 18,5 процента в 1997 ф.г. до 32,8 процента в 2003 ф.г. Участие университетов в программе УВСИ в основном будет связано с Программой академического стратегического альянса (АСА).

В рамках программы АСА отделение оборонных программ ДЭ заключило контракты с ведущими академическими учреждениями США для проведения исследований и разработок вместе с лабораториями по разработке ядерного оружия. Согласно ДЭ, пятью основными задачами АСА являются:¹⁹

1. Установить и подтвердить практику крупномасштабного моделирования и расчетов в качестве надежной научной методологии в ключевых научных и технических приложениях, поддерживающих цели и задачи ДЭ по сопровождению арсенала на научной основе.
2. Ускорить прогресс в критических областях фундаментальных исследований, математики и вычислительной науки, в компьютерных системах высокого качества, и в исследованиях по решению задач, поддерживающих долгосрочные цели программы УВСИ.
3. Поднять уровень фундаментальных исследований, компьютерных систем высокого качества, и исследований по решению задач в академическом сообществе.
4. Установить техническое взаимодействие усилий по программе академического стратегического альянса с текущими проектами по программе УВСИ в лабо-

раториях ДЭ.

5. Усилить подготовку и исследования в областях, представляющих интерес для программ УВСИ и САНУ и укрепить связи ЛАНЛ, ЛЛНЛ, НЛС и университетов.

Для того, чтобы информировать университеты о программе АСА, и таким образом благоприятствовать подаче исследовательских предложений, которые могут оказаться полезными для усилий по моделированию ядерных взрывных устройств, ДЭ провело 5-6 декабря 1996 г. в Далласе, Техас, "Конференцию перед подготовкой предложений по программе альянса УВСИ". Конференцию посетили 147 преподавателей и студентов-выпускников из 47 университетов²⁰. На конференции были представлены доклады по областям исследований по ядерному оружию, интересующим ДЭ: вычислительной физике, материалам, материалам с повышенным содержанием энергии, и по вычислительным методам и инфраструктуре. Кроме того, исследователи отделения оборонных программ Департамента энергетики (ДЭ ОП) подготовили набор обзорных работ "для помощи в понимании того, что технически существенно для программы УВСИ"²¹.

Из 48 "предварительных предложений", представленных университетами, ДЭ выбрал 20, которые должны были быть расширены до полных предложений, и затем было отобрано 7 "финалистов", которых посетили представители ДЭ²². Университеты-победители были выбраны на основе "Выбора лучших общих комбинаций дисциплин для удовлетворения целей УВСИ"²³. Понять, что ДЭ при этом имеет в виду, можно из "прозрачки", представленной помощником заместителя секретаря ДЭ Вейгандом на конференции по предварительным предложениям, показанной на рисунке 3. Здесь взрыв ядерного оружия подразделяется на восемь последовательных процессов, начинающихся с детонации взрывчатого вещества, окружающего ядро первичного компонента термоядерного устройства из расщепляющихся материалов, и заканчивающихся поражающими факторами ядерного оружия. Если смотреть по вертикали, то рисунок показывает роль, которую играет (2) моделирование (вместе с расчетами) в интеграции (1) экспериментальных возможностей программы САНУ по ядерному оружию (например, установки НИФ, на которой могут быть достигнуты некоторые физические условия, характерные для ядерного взрыва) с (3) научными исследованиями, включая "научные исследования и эксперименты академического и лабораторного масштаба".

Перед подачей предварительных исследовательских предложений по программе альянса двумя вопросами, которые чаще задавались ДЭ, были: (1) "Должны ли рассматриваться ядерные вопросы?", и (2) "Будут ли они определяющим фактором?". Частичный ответ ДЭ на эти вопросы был таким:

"Непосредственные ядерные вопросы ни являются главной целью, ни служат необходимым или определяющим фактором для отбора предложений-победителей программы альянса, так как такая цель, вероятно, привела бы к появлению большого числа предложений, дублирующих текущие работы в лабораториях УВСИ... Важно выделить и сделать упор на моделирование относящейся к УВСИ физической проблемы таким образом, чтобы вычислительная техника и инфраструктура были направлены к выделению и поддержке проблем, имеющих отношение к УВСИ... Фундаментальным принципом этой программы академического стратегического альянса является интеллектуальная независимость и изобретательность, в то время как остальное остается относящимся к программе УВСИ. Поэтому предлагаемая работа не должна быть просто уточняющей дополнительной работой для программ лабораторий."²⁴

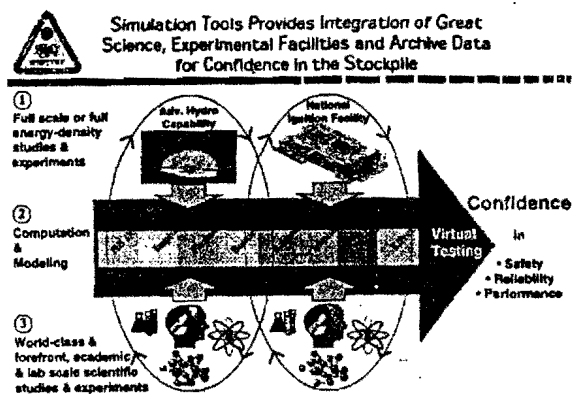


Рисунок 3. "Прозрачка" ДЭ, представленная на конференцию по подготовке предварительных предложений по программе альянса УВСИ.

Структура программы академического стратегического альянса в настоящее время состоит из трех уровней, как показано в Таблице 2. До сих пор распределялись только фонды первого уровня, благодаря заключенным контрактам, организовавшим пять университетских "Центров выдающегося мастерства" в Калифорнийском технологическом институте, Стенфордском университете, Чикагском университете, Иллинойском университете (Урбана-Шампейн) и в университете штата Юта. Эти контракты заключены на пять лет на общую сумму от 20 до 30 миллионов долларов на университет с возможностью продолжения на последующие пять лет. 7 ноября 1997 г. ДЭ выпустил запрос на исследования по уровню 2. Несколько исследовательских контрактов были без особого шума представлены университетам до публичного объявления о финансировании пяти центров программы АСА (т.е., до 31 июля 1997 г.)²⁵.

Исторически сами программы для расчета ядерного оружия и даже данные по их описанию всегда были строго засекреченными, как для предотвращения их попадания в руки потенциальных новых обладателей ядерного оружия, так и для предотвращения того, чтобы Советский Союз и другие государства, обладающие ядерным оружием, не смогли улучшить свое оружие благодаря возможному ознакомлению с тем, каким аспектам физики оружия уделялось основное внимание в американских исследованиях²⁶. ДЭ представило университетам описание некоторых своих требований к научным и вычислительным исследованиям по ядерному оружию для помощи в подготовке полезных предложений для грантов. И, как видно из табл. 2, первый уровень программы академического стратегического альянса представляет исторически беспрецедентную степень доступа университетских ученых к суперкомпьютерам в национальных лабораториях по разработке ядерного оружия. Одним

примером исследований, выполняемых в рамках программы академического стратегического альянса служит "Установка для моделирования динамического отклика материалов", создаваемая в Калифорнийском технологическом институте ("виртуальная ударная труба") для изучения физики ударных волн (см. Приложение).

В то время как другие центры программы альянса делают основной упор на моделирование газотурбинных двигателей (Стэнфордский университет), астрофизических явлений (Чикагский университет), твердотельных ракетных двигателей (Иллинойский университет) или сценариев аварий с пожарами или взрывами (университет штата Юта), т.е. на приложения по физическому и вычислительному моделированию явлений аналогичных, и частично прямо относящихся к "виртуальным испытаниям" САНО, в предложении на грант Калифорнийского технологического института не было никаких приложений, не относящихся к ядерному оружию. Это вызывает вопрос о том, будет ли виртуальная ударная труба Калифорнийского технологического института на самом деле использоваться в качестве программы для расчета ядерного оружия, так как в нее в конечном счете предполагается включить комбинированное моделирование взрывчатых веществ и материалов, испытанных воздействие ударных волн, влияние границ между материалами и вызванную ударной волной турбулентность в сжимаемой жидкости и перемешивание. Программа для расчета бомбы должна включать помимо этого расчеты критичности, и ядерных процессов деления, и, возможно, синтеза, а также энерговыделения взрыва. Анализ этих процессов и создание соответствующих компьютерных программ были частично проделаны в рамках гражданских программ по энергетике на основе деления и синтеза ядер. Кроме того, Центр программы АСА в Чикагском университете занимается детальным моделированием процессов термоядерного поджига и горения как части программы астрофизических исследований.

Таким образом, если исследовательская программа Калифорнийского технологического института будет продолжаться в течение пяти или десяти лет, и будет создана виртуальная ударная труба, то будет проведена большая часть работы, необходимой для создания программы расчета бомбы, с включением передовой физики и вычислительной науки, и калибровки по современным результатам с установок программы САНО и университетских установок. Если учесть, что программа Калифорнийского технологического института одновременно предназначается для производства несекретной исследовательской продукции, остается связанной с программой моделирования ядерного оружия и с обучением иностранных специалистов, то она с очевидностью вызывает опасения в отношении распространения технологии ядерного оружия.

СИНТЕЗ С ИНЕРЦИАЛЬНЫМ УДЕРЖАНИЕМ

Сопровождение ДЭ по контролю над вооружениями и нераспространению (НН-40) исследовало проблему распространения в программе САНО в связи с Нацио-

Таблица 2. Трехуровневая структура программы академического стратегического альянса ДЭ.

Уровень программы	Количество текущих контрактов на уровне программы	Диапазон финансирования	Краткое описание
Уровень 1: "Центры выдающегося мастерства"	5	1,5-2,0 млн.долл. в течение первого года, возрастает за 2-3 года до 4-5 млн.долл. в год	"Долгоживущие многоцелевые университетские центры достаточного размера."
Уровень 2: "Стратегические исследования"	Подлежит определению	200-400 тыс.долл. в год (общий бюджет 3-5 млн.долл.)	"Направлены на отдельные кафедры университетов."
Уровень 3: "Индивидуальное сотрудничество"	Подлежит определению	50-100 тыс.долл. в год	"В основном между одной лабораторией ДЭ по разработке ядерного оружия и одним ученым."

нальной установкой поджига (НИП) в докладе 1995 г. "Национальная установка поджига и вопрос нераспространения". Здесь ДЭ признал в докладе вклад исследований на НИП в проблему распространения возможностей конструирования термоядерного оружия. Например, для случая государств "Второй категории", которые уже имеют возможность разработки простого одноступенчатого оружия на делении, в докладе отмечается:

"...исследования по СИУ могут предоставить государству, обладающему кадрами знающих специалистов, которые могут улучшить компьютерные программы, относящиеся к деятельности по разработке ядерного оружия, и связанные с уравнениями состояния, неустойчивостью и перемешиванием на границе раздела материалов, имплозии дейтерия и трития, и горения дейтериево-третиевой смеси. НИП и, в меньшей степени, другие установки СИУ с открытым доступом могут помочь государствам "Второй категории" обнаружить существенные ошибки в своих программах."²⁷

По отношению к переходу к следующему этапу - возможности создания двухступенчатого термоядерного оружия - в докладе отмечается: "Современная развитая организация, вновь создающая ядерное оружие, имеющая доступ к компьютерным программам по СИУ и современным рабочим станциям, обладает гораздо большими возможностями по разработке вторичных компонентов, чем США, Великобритания, или СССР в 50-х г.г., или Франция или Китай в 60-х г.г."²⁸ Несмотря на эти и другие подобные оценки, в докладе просто заявляется, и это представляется заранее сделанным выводом, что "технические опасения относительно распространения", связанные с НИП, "управляемы и поэтому могут быть сделаны приемлемыми."

Тем не менее, в разделе доклада "Сводка замечаний общественности и ответов департамента" отмечается, что:

"Департамент осознает, что здесь имеются противоречия между мерами открытости на НИП и необходимостью поддержания засекречивания определенной информации для предотвращения распространения информации по разработке ядерного оружия к странам, стремящимся его получить... Оборонные программы ДЭ уже разработали план мероприятий по распространению для обращения с некоторыми из этих вопросов, и учитывают возникающие в это процессе замечания в разработке плана."²⁹

К сожалению, в современном мире компьютерных сетей, банков технических данных и сложных сетей международных коммерческих и научных взаимосвязей, любая система контроля, основанная на ограничении передачи критических данных и технологии конкретным странам, и одновременном разрешении дальнейшего распространения такой информации подавляющему большинству стран, обречена на провал.

Более полно оценить полную степень опасений технического распространения в отношении предлагаемого программой САНУ подхода к НИП можно, рассмотрев руководство ДЭ по засекречиванию для НИП, и затем изучить, чего намеревается достичь американская программа ядерного оружия в рамках параметров несекретных исследований:

"Вся информация, экспериментальная и расчетная, для лабораторных капсул, которые поглощают количество энергии, меньшее или равное 10 мегаджоулей, и чьи максимальные размеры меньше или равны 1 см, несекретны (с некоторыми исключениями). [Примечание: кажется, что такие пределы включают все или большую часть текущих конструкций капсул, поскольку номинальная энергия источника НИП равна всего лишь 1,8 мегаджоуля].

Вся информация, относящаяся к лабораторным полостям СИУ [т.е., маленьким полостям цилиндри-

ческого или другого размера, преобразующим лазерное излучение в рентгеновское], в которых достигается пиковая температура 400 эВ или ниже, полученная расчетами или в эксперименте, несекретна. [Примечание: температура полостей НИП для текущих конструкций капсул в настоящее время ограничена лазерно-плазменными неустойчивостями величиной примерно в 300 эВ.]

Расчеты, моделирование и экспериментальные данные по гидродинамическим неустойчивостям и перемешиванию в несекретных мишенях СИУ несекретны (если они не раскрывают другую секретную информацию). Связь данных по перемешиванию или моделей перемешивания с реальной разработкой ядерного оружия, приложимость к ней, или реальное их применение в ней остаются секретными."³⁰

Д-р Дэвид Крендолл, директор сопровождения исследований по инерциальному синтезу ДЭ информировал обзорный комитет Национальной академии наук (НАН) в сентябре 1996 г., что "представляется, что большинство экспериментов на НИП сами по себе несекретны. Это означает, что в большинстве случаев публикация результатов возможна. Тем не менее, хотя и 80 процентов работ несекретны, вероятно, что 80 процентов будут иметь некоторое отношение к оружию. Информация, которая в противном случае была бы несекретной, может стать секретной, если она связана с конкретной системой оружия. Следует иметь в виду это различие." Конечно следует. Качество подхода программы САНУ к "контролированию" распространения относящейся к разработке ядерного оружия информации по СИУ, достояние "Алисы в Зазеркалье", иллюстрируется этим примером "ассоциации" номинально несекретной информации с формально секретной информацией. Председатель обзорной комиссии НАН по СИУ попросил двух старших научных сотрудников из лаборатории лазерной энергетики Рочестерского университета (ЛЛЭ) - лаборатории, в которой размещается 60-пучковый модернизированный лазер "ОМЕГА" о возможности прямого сравнения результатов расчетов по "несекретной" программе ЛЛЭ для "прямого инициирования" СИУ с теми, которые были получены по "секретной" программе разработки (ЛАСНЕКС), используемой лабораториями по разработке оружия для моделирования СИУ с косвенным иницированием, применив обе программы для моделирования одной и той же проблемы. "Как д-р МакКрори, так и д-р Вердон выразили опасение, что такая попытка приведет к засекречиванию программ ЛЛЭ."³¹

В свете такой большой несекретной области экспериментов на НИП, охватывающей практически все эксперименты с лазерным обжатием для достижения поджига и около 80 процентов всех планируемых экспериментов на НИП, полезно рассмотреть, какое значение эта номинально несекретная работа может иметь для американской программы разработки ядерного оружия и, следовательно, по экстраполяции, на распространение возможностей разработки ядерного оружия на другие страны. Доктор Майкл Анастасио, старший разработчик ядерного оружия в ЛЛНЛ, недавно сделал доклад под названием "Роль поджига в сопровождении арсенала" на том же самом заседании комиссии НАН, которой было поручено рассмотреть программу ДЭ по СИУ. Согласно стенограмме ДЭ этого совещания:

"Д-р Анастасио описал способ, которым разработчики ядерного оружия объединяют доступную научную базу, и прилагают эти знания для настоящих и будущих задач сопровождения арсенала. Он сравнил этот процесс с достижением арсенала на НИП, который должен быть "решающим комплексным испытанием", во многих отношениях сходным с процессом разработки вторичных компонентов ядерного оружия. Обе системы обжимаются рентгеновским излучением, распространяющимся через горячее движущееся вещество с большим зарядом. В обоих случаях программы, используемые для моделиро-

вания экспериментов, должны объединять потоки излучения и непрозрачности, гидродинамику плазмы, включая неустойчивость и перемешивание, термоядерный поджиг и горение.

Д-р Анастасио отметил, что такие комплексные эксперименты разрабатывают и проверяют суждение разработчиков оружия. Это критично для подготовки нового персонала для разработки оружия, поскольку даже идеальные компьютерные программы и физические данные могут обратиться в абсурд в руках неопытного разработчика.

Д-р Анастасио обсудил случаи, в которых численные методы, разработанные для моделирования экспериментов по СИУ, были переработаны для применения в разработке оружия... В заключение доктор Анастасио отметил, что интеллектуальная жизнеспособность и технические суждения будущего сообщества разработчиков ядерного оружия являются теми важными качествами, которые должны обслуживаться программой НИП.³²

Z-ПИНЧ И ПИТАЕМЫЕ ВЗРЫВЧАТЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ ИМПУЛЬСНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Роль подобных "решающих комплексных испытаний" в улучшении программ для разработки ядерного оружия не ограничивается СИУ с лазерным обжатием. В программе САНО произошло что-то вроде конвергенции между возможностями все более мощных электрических импульсных энергетических установок, первоначально создававшихся для моделирования поражающих факторов ядерного оружия, и установок для СИУ с лазерным обжатием. Фактически в выполняемой в лаборатории Сандия программе импульсной энергии на Z-машине уже были достигнуты или превышены ключевые параметры НИП - такие, как ширина рентгеновского импульса, пиковая мощность рентгеновского излучения, и общая энергия рентгеновского излучения - которые считаются основными для поджига мишени для синтеза, а сейчас происходит приближение к нужным значениям четвертого параметра - исключительно высокой температуры. В Z-машине прохождение сильного тока (в настоящее время 10 - 20 МА) через цилиндрическую систему тонких проволочек порождает аксиальное магнитное поле, заставляющее плазму от испарения проволочек двигаться в радиальном направлении. Остановка и термализация плазмы на оси (обычно переменная вдоль этой оси обозначается через z, отсюда произошло и название эффекта z-пинч) создают источник мягкого рентгеновского излучения. Было обнаружено, что полный выход рентгеновского излучения пропорционален квадрату тока, и сильно зависит от расстояния между проволочками и от их толщины.³³

Полости могут быть включены в систему тремя способами, обозначаемыми в настоящее время как "статический", "динамический" и "вторичный". Статическая полость окружает область z-пинча, увеличивая мощность рентгеновского излучения внутри рабочей области за счет отражения, поглощения и переизлучения рентгеновских лучей z-пинча полостью. Динамическая полость располагается внутри z-пинча и испытывает сжатие при ударе и облучении сжимающимся пинчем, а вторичная полость может быть присоединена к первичной полости для проведения исследований потока излучения.

В сентябре 1997 г. на Z-машине лаборатории Сандия была достигнута температура потока рентгеновского излучения в 146 эВ (примерно 1,6 миллиона градусов Цельсия) "в контейнере размерами с катушку ниток."³⁴ Впоследствии была достигнута температура в 190 эВ (около 2,1 миллиона градусов) и выходная мощность рентгеновского излучения в 290 триллионов ватт за счет использования более усложненного z-пинча; вложенные проволочные сетки ослабляли гидродинамические неустойчивости имплозии.³⁵ Для сравнения отметим, что лазерно-плазменные неустойчивости ограничивают эксперименты на НИП по поджигу с косвенным обжатием температурой около 320 эВ, а основные мишени НИП для

косвенного обжатия проектируются для работы при температуре в 250 - 300 эВ. По мнению ученых из лаборатории Сандия, эти последние результаты на Z-машине позволяют считать, что уже на проектируемой установке импульсной энергетике ("Улучшенный источник излучения X-1", см. ниже) "можно будет достичь энергии в 16 мегаджоулей, мощности более 1000 триллионов ватт и температуры более 3 миллионов градусов."³⁶ Обычно считают, что существенным условием синтеза являются температуры в 2 - 3 миллиона градусов.

В апреле 1998 г. президент лаборатории Сандия С. Пол Робинсон официально запросил разрешения ДЭ на проведение концептуального проектирования установки X-137. Вероятно, что будет предложено строительство этой установки на Невадском испытательном полигоне. В течение некоторого времени в 1995 г. в лаборатории Сандия планировали создание еще более мощной рентгеновской установки под названием "Юпитер" в рамках объединенной программы департамента энергетике и министерства обороны по продвинутым разработкам, которая была откликом на тот факт, "что после потери подземных ядерных испытаний как департамент энергетике, так и министерство обороны, нуждаются в источнике плазмы со сверхвысокой плотностью энергии."³⁸

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО СИНТЕЗУ С ОБЖАТИЕМ ВЗРЫВЧАТЫМ ВЕЩЕСТВОМ

Информация по экспериментам по дейтериево-тритиевым синтезом с обжатием взрывчатым веществом в США, доступная широкой общественности, довольно скудна. Сравнительно недавняя экспериментальная программа была известна под кодовым именем "Дареный конь". В 1990 г. в секретном журнале "Оборонная наука" появилось несколько статей по этой программе.³⁹ Аналогичная программа в Ливерморе в конце 50-х - начале 60-х г.г. включала проекты ядерных устройств под названием "Голубь" и "Скворец", по поводу которых во время дебатов о запрещении ядерных испытаний в начале 60-х г.г. Эдвард Теллер делал экстравагантные заявления о близком успехе.⁴⁰ В более поздние времена ученые из лабораторий по разработке ядерного оружия в бывшем Советском Союзе заявили о том, что они получили около 10^{13} реакций синтеза в эксперименте по прямому сжатию газовой смеси дейтерия и трития взрывчатыми веществами при помощи метода ударной кумуляции в слоистой среде в конце 80-х г.г.⁴¹ Некоторые члены той группы российских ученых, работающих по проекту синтеза в замагниченных мишенях (СЗМ - предмет сопровождающей статьи Джонса и фон Хиппеля) в кооперации ЛАНП и ВНИИЭФ (Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, ранее - Арзамас-16) входят в состав соавторов в работе по синтезу с использованием взрывчатых веществ.

Американские специалисты по ядерному оружию были очень удивлены, узнав на конференции Мегагаусс V в 1989 г. о размахе советского прогресса в области импульсной энергетике взрывчатых веществ (ИЭВВ). Впоследствии директор Лос-Аламоса Сиг Хекер обозначил эту область как "подходящее" направление сотрудничества с испытывающим недостаток в деньгах Арзамасом-16. Исследования по высокой плотности энергии и эксперименты по гидродинамической неустойчивости более важны, чем приложения СЗМ. По мнению ученых Лос-Аламоса:

"Ожидается, что российская технология сыграет основную роль в Лос-Аламосской исследовательской программе AGEX-II (из категории наземных экспериментов программы САНО). Сотрудничая с русскими, мы надеемся сэкономить много миллионов долларов на затратах на исследования, которые понадобились бы на воспроизведение и понимание их достижений. Более того, мы достигнем гораздо более быстрого прогресса в нашем понимании принципов, заложенных в физику высокой плотности энергии, чем если бы мы добивались этого в одиночку.

Мы весьма осторожно налаживаем наше со-

трудничество в ВНИИЭФ. На каждом этапе мы ин-формируем официальных лиц лаборатории и департамента энергетики; они поддерживают нас продолжать расширять наше взаимодействие. Другие ведомства США, в частности, министерство обороны, национальный научный фонд, ВВС США и оборонное ядерное агентство следят за нашим прогрессом в ожидании поиска путей внедрения российской технологии в наши программы посредством аналогичного сотрудничества.⁴²

В ноябре-декабре 1997 г. сотрудничество ЛАНЛ и ВНИИЭФ расширилось до степени проведения совместного эксперимента по устойчивости оболочки на установке импульсной энергетики "Пегас-2", предшественнике более мощной установки "Атлас", строящейся сейчас в Лос-Аламосе.

Следует понимать, что исследовательская программа СЗМ/ИЭВВ является только одним компонентом всеобъемлющих усилий программы САНО по созданию системы трехмерного, полностью физического и полностью системного компьютерного моделирования взрыва ядерного оружия. Хотя возможность новых концепций оружия на основе синтеза с обжатием взрывчатыми веществами, возникающая из-за "дыр" в договорах ДВЗЯИ и ДНЯО заслуживает изучения сообществом нераспространения и контроля над вооружениями, ее не следует рассматривать в изоляции от остальной части САНО. СЗМ и ИЭВВ - это компоненты наступления ДЭ на многих фронтах в направлении к проблемам энергии синтеза и сопровождения арсенала, которые в настоящее время соединены.

СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО СИНТЕЗУ В ДВЗЯИ И ДНЯО

Эксперименты по импульсной энергетике с использованием взрывчатых веществ в высшей степени спорны, так что внутри правительств и между ними проходили обсуждения, касающиеся согласия таких экспериментов с обязательствами США по ДВЗЯИ. Этот договор запрещает проведение "испытательных взрывов ядерного оружия, или любых других ядерных взрывов". Однако, договор сам по себе не определяет, что представляет собой "запрещенный ядерный взрыв", и окончательный текст договора не содержит никаких согласованных исключений из этого всеобъемлющего запрещения. Явный текст договора относится ко всем ядерным процессам, в которых количество и скорость высвобождения энергии могут быть объективно характеризовано как "взрывные".

11 августа 1995 г. президент Клинтон объявил, что США будут поддерживать договор с "нулевой мощностью" и стремиться к его согласованию. 27 октября 1995 секретарь департамента энергетики объявил, что планируемые для Невадского испытательного полигона эксперименты по программе САНО будут оставаться "подкритическими". ДЭ объяснил, что подземные эксперименты с обжатием ядерных материалов взрывчатыми веществами на Невадском испытательном полигоне (НИС) не будут приводить к ядерному выходу при мгновенной критической сборке расщепляющихся материалов, т.е. плутоний или высокообогащенный уран в требуемых количествах никогда не будет приведены во взрывчатую ("мгновенно критическую") конфигурацию цепной реакции и всегда будут оставаться подкритическими.

Однако, ни президент Клинтон, ни ДЭ не объявляли, каким образом в программе САНО планируется интерпретировать обязательства США по ДВЗЯИ по отношению к относящимся к ядерному оружию экспериментам и к другим экспериментам, использующим синтез, а не деление ядер. На большой взрывной экспериментальной установке (БВЭУ/ИЭВВ) предполагается проводить эксперименты по синтезу с обжатием взрывчатыми веществами и по импульсной энергетике с применением до 32 тонн взрывчатых веществ в рамках предпочитаемой ДЭ альтернативы для "расширенного использования" НИС в течение следующего десятилетия. К таким экспериментам не относится американское заявление 1975 г. на первой обзорной конференции по договору ДНЯО, кото-

рое выражает мнение, не оспоренное и поэтому "принятое" в то время другими странами, и согласное которому эксперименты с полным удержанием по синтезу с обжатием пучками лазерного излучения и частиц, очевидно требующие крупномасштабных стационарных экспериментальных установок, не представляют собой разработки ядерного оружия в смысле договора ДНЯО.

Другими словами, прочие формы синтеза с инерциальным удержанием, такие, как обжатие взрывчатыми веществами, рентгеновские источники с импульсным электрическим питанием для имплозии дейтериево-тритиевых мишеней для синтеза в полости, или сжатие магнитного потока в горячей замагниченной дейтериево-тритиевой плазме под действием взрывчатых веществ не подпадают под действие имеющегося заявления ДНЯО, касающегося СИУ с пучковым обжатием. Эти эксперименты вполне могут попадать под действие запрещения ДВЗЯИ "любых других ядерных взрывов", если энерговыделение в синтезе на единицу массы (т.е., "плотность энергии") превысит соответствующую величину для взрывчатого вещества. Хотя импульсные рентгеновские источники, питаемые от батареи конденсаторов, и не разрешены особо исключением из договора ДНЯО 1975 г., они похожи на СИУ с обжатием пучками лазерного излучения или частиц в том смысле, что для достижения условий синтеза в этом случае необходимы большие стационарные установки. С другой стороны, установки для синтеза с использованием взрывчатых веществ или сжатия магнитного потока имеют намного меньшие размеры, порядка 1 - 3 метров по длине, что приблизительно соответствует размеру атомных бомб.

Плотность энергии химического взрывчатого вещества (тротила), обычно используемого для измерения эквивалента примерно равна 1100 ккал/г. Этот уровень энерговыделения эквивалентен $1,64 \cdot 10^{15}$ реакций синтеза дейтерия и трития на грамм вещества мишени. Очевидно, что современные эксперименты по синтезу уже превзошли этот уровень. Сообщалось, что на лазере "Омега" в Рочестерском университете был достигнут выход синтеза в $1,3 \cdot 10^{14}$ нейтронов менее чем в одном миллиграмме вещества при использовании дейтериево-тритиевых капсул мишени, изготовленных в Лос-Аламосе. Действительно, целью всех этих экспериментальных подходов, как санкционированных, так и несанкционированных, является поджиг реакции синтеза, который, очевидно, превышает "стандарт" плотности энергии взрывчатых веществ на много порядков величины.

Отражая опасения национальных лабораторий по поводу возможных интерпретаций обязательств США по договорам, которые могут помешать экспериментальным составляющим программы САНО, директор НЛС С. Пол Робинсон заявил в Конгрессе в марте 1996 г.:

"Если бы положения обзорной конференции по договору о нераспространении, 1975 г. по поводу СИУ были перенесены в договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, некоторые из используемых в настоящее время в лабораториях для моделирования различных условий ускорителей высоких энергий, и некоторые их тех, которые могут понадобиться в будущем, не должны применяться. Такие ограничения не входили в позицию директоров лабораторий, когда мы докладывали Президенту о том, что мы можем выполнить ту же задачу без подземных ядерных испытаний. Наши четкие представления состоят в том, что не следует накладывать дальнейших ограничений на нашу возможность использовать различные подходы к синтезу с инерциальным удержанием для поддержки сопровождения арсенала. С моей точки зрения, весьма важно, чтобы синтез с инерциальным удержанием был разрешен ДВЗЯИ без подобных ограничений."⁴³

Однако, как отмечалось, договор ДВЗЯИ, подписанный Соединенными Штатами в сентябре 1996 г. не содержит явного разрешения "всех различных подходов к синтезу с инерциальным удержанием для поддержки сопровождения арсенала". В договоре не упоминается об

этом конкретном вопросе, но в нем содержится весьма широкое запрещение проведения "испытательных взрывов ядерного оружия, или любых других ядерных взрывов". История переговоров показывает, что последняя фраза предназначена для закрытия возможной лазейки, представляющей ядерные взрывы, проводящиеся для формально "мирной" цели, а не для создания оружия, и поэтому договор запрещает эксперименты по синтезу с импульсной энергетикой от взрывчатых веществ, когда они достигают уровня "ядерного взрыва".

Несмотря на то, что не существует международного признанного определения ядерного взрыва, американская политика, явно или молчаливо поддерживаемая многими странами, определяет, что для того, чтобы оставаться в согласии с ДВЗЯИ, ядерный эксперимент со сборкой расщепляющихся материалов при помощи взрывчатых веществ должен оставаться "подкритическим". Этот критерий ограничивает выделение ядерной энергии от таких экспериментов с обжатием расщепляющихся материалов взрывчатыми веществами порядком 0,1 микрограмма тротилового эквивалента, или, возможно, вплоть до 0,1 грамма, если в эксперименте производится освещение установки мощным дополнительным источником нейтронов⁴⁴.

Другое опасение, связанное с системами ИЭВВ, заключается в том, нарушает ли передача устройств ИЭВВ, или их совместное использование, всерьезное запрещение договором о нераспространении передачи ядерных взрывных устройств от одного участника договора другому (в том числе и участнику, обладающему ядерным оружием), если такие новые устройства для сжатия смогут производить заметный выход реакций деления или синтеза ядер.

Как отмечалось выше, область действия обязательств США по ДНЯО очень широка, и включает в себя согласие не участвовать в передаче оборудования, включающего "другие ядерные взрывные устройства". Хотя ДНЯО явно запрещает подобную передачу, он не определяет основной фразы - "другие ядерные взрывные устройства". Если в настоящее время энергетический выход устройств ИЭВВ весьма мал, то это может измениться в будущем, поскольку целью и американской, и российской программ ИЭВВ является увеличение выхода подобных устройств до такой степени, чтобы они могли произвести "усиление" энергии, т.е., выделить больше энергии, чем они получили.

СТРАТЕГИЯ "СОПРОВОЖДЕНИЯ АРСЕНАЛА НА НАУЧНОЙ ОСНОВЕ": НУЖНА ЛИ ОНА?

Аргументация в пользу того, что текущие действия ДЭ по сопровождению не уделяют достаточного внимания опасениям по распространению, появляется из изучения документа, который не без основания можно назвать основополагающим документом программы, а именно доклада группы консультантов корпорации ДЖЭЙСОН-МИТРЕ под руководством д-ра Сиднея Дрелла из Стэнфордского университета от августа 1994 г. под названием "Сопровождение арсенала на научной основе", именуемым впоследствии "Доклад Дрелла по САНО". Хотя впоследствии появились еще несколько докладов ДЖЭЙСОН по различным аспектам программы САНО, ни в одном из них не рассматривалось ее влияние на технические аспекты распространения. По отношению к этому вопросу в первоначальном докладе Дрелла по САНО основное внимание уделялось проблемам политического впечатления, окружавшим конференцию по продлению договора ДНЯО в мае 1995 г.:

"...выполнение программы САНО не должно приводить к впечатлению, что, отказываясь от ядерных испытаний, США компенсируют это введением столь обширных улучшений приборов и вычислительных возможностей, что приведет к результирующему повышению наших перспективных возможностей по разработке ядерного оружия."

Доклад призывает "к осторожности при разработке

соответствующей программы САНО, которая должна удовлетворять двум весьма различным, и зачастую влияющих друг на друга задачам... усиления научно-технических программ оружия, подкрепляющих наши возможности продвинутой диагностики, соответствующих вычислений и окончательного понимания всех аспектов его поведения" напротив "обеспечения бесспорного продолжения договора о нераспространении ядерного оружия на конференции 1995 года."⁴⁵

Многие работы по программе САНО очевидно направлены на получение новой информации и методов по разработке и проектированию ядерного оружия, включая оружие с ускорением и двухступенчатое термоядерное оружие, которое в настоящее время лежит за пределами возможности большинства стран о потенциальной способностью разработки ядерного оружия. Как мы видели ранее, некоторые из этих данных могут быть рассекречены в интересах "технического сдерживания" и "независимого рецензирования". История американской программы ядерного оружия показывает, что из данных, считающихся несекретными, можно вывести или определить дополнительную информацию, а другие данные могут быть сознательно рассекречены в рамках политики "открытости", призванной сгладить отрицательное восприятие международной общественностью скрытой миссии ядерного сдерживания и возможностей программы САНО.

Доклад Дрелла по САНО предупреждает о том, что программа сопровождения "может стать препятствием договору по нераспространению, если она не будет управляться со сдержанностью и открытостью, включающей при необходимости международное взаимодействие и сотрудничество". В нем приводятся также два аргумента, которые, по мнению авторов, способны помочь другим странам поддерживать программу САНО (или, по крайней мере, смириться с ней):

"Во-первых, подобное сопровождение является важной обязанностью объявленных ядерных держав, которой они гарантируют безопасность оружия и обеспечивают его сохранность по отношению к краже или другому несанкционированному его применению... Из первого аргумента следует, что объявленные ядерные державы могут согласиться с запрещением ядерных испытаний только в том случае, если они смогут поддерживать техническую базу своего экспериментального и теоретического анализа на уровне, достаточном для обнаружения неисправностей ядерного оружия при его старении, анализа последствий этих неисправностей и их устранения."

Однако, этот аргумент можно оспорить. Выполнение "обязанностей" ядерных держав по поддержанию безопасности и сохранности ядерного оружия (в отличие от его надежности) ни в коем случае не оправдывает новых экспериментальных программ по обнаружению и исправлению неисправностей в стареющем американском ядерном оружии, не говоря уже о развернутых программах моделирования ядерных взрывов из первых принципов. Сохранность обеспечивается ограждениями, охраной, оружием, сигналами тревоги, замками с электронным кодом и другими устройствами, которые не зависят технически от проблем надежности и безопасности ядерного взрывного блока.

Более того, как сообщил Конгрессу д-р Рэй Киддер, старший научный сотрудник ЛЛНЛ, старение может повлиять на надежность взрывного ядерного блока, но не на его ядерную безопасность по отношению к детонации в одной точке, если таковая была подтверждена ранее в качестве характеристики, присущей рассматриваемой конструкции⁴⁷. Ядерное оружие в американском арсенале рассматривается как достаточно безопасное, а чувствительность используемых в ядерном оружии взрывчатых веществ к удару или пожару с возрастом не увеличивается. Проблемы безопасности ядерных боеголовок обычно связаны с конструкцией самой боеголовки и не являются результатом старения или других причин⁴⁸.

Второй аргумент, представленный в докладе Дрелла по САНУ в пользу поддержки сопровождения неядерными государствами, так же не очень убедителен:

"Во-вторых, по-видимому, все подземные ядерные испытания будут остановлены после вступления ДВЗЯИ в силу. В истории переговоров по ДНЯО ДВЗЯИ был обозначен среди его целей и считалось, что он был необходим для обеспечения поддержки неядерными государствами американской позиции, стремящейся к бессрочному продолжению ДНЯО... Из второго аргумента следует вывод о том, что при действии ДВЗЯИ надо будет создавать новые установки для укрепления научной базы нашего понимания ядерного оружия для того, чтобы по крайней мере частично знания, обычно получаемые из испытаний."⁴⁹

Эти заявления вполне могут привести неосмотрительного читателя к выводу, что испытательные взрывы ядерного оружия широко и регулярно использовались для обнаружения и исправления проблем с ядерным оружием из арсенала, когда на самом деле они почти никогда не применялись для этой цели.

Среди примерно 830 особо отмеченных с 1958 г. "дефектов" в арсенале ядерного оружия при ядерных испытаниях было обнаружено менее 1 процента, и все эти испытания относились к оружию, включенному в арсенал до 1970 г., которое в настоящий момент уже снято с вооружения⁵⁰. После 1970 г. при подземных ядерных испытаниях не было обнаружено ни одного дефекта в ядерном арсенале, и только в 4 "Предложениях по изменению изделий" для оружия в арсенале военного резерва из 141 (т.е., менее 3%) для разработки или подтверждения корректирующих действий использовались подземные ядерные испытательные взрывы. К концу холодной войны в 1991 г., когда некоторые виды ядерного оружия, например, стратегическая бомба В-28, находились в национальном арсенале по 33 года, ни один из типов американского ядерного оружия никогда не был снят с вооружения из-за "старения" ядерного взрывного устройства⁵¹.

Поскольку подземные ядерные испытания так редко использовались для обнаружения и исправления дефектов ядерного оружия в ходе их старения, то не имеется непосредственной и неоспоримой связи между деятельностью по программе САНУ, предназначенной для "замены" испытаний ядерного оружия, и поддержанием надежности и безопасности ядерного оружия. Следовательно, не имеется и убедительного с точки зрения национальной безопасности оправдания продолжающейся опасности распространения, присущей текущей американской программе САНУ.

Основная связь между испытаниями ядерного оружия и безопасностью и надежностью ядерного арсенала является косвенной, и заключается в приложении к проблемам арсенала опыта и суждений, которые были первоначально получены и частично поддерживались в процессе разработки, конструирования и производства новых ядерных взрывных устройств, и предсказания их характеристик, которые либо подтверждались, либо отвергались в подземных ядерных испытательных взрывах. Таким образом, главной проблемой, стоящей перед американской программой сопровождения арсенала, не является заполнение некоторого воображаемого разрыва, вызываемого потерей ядерных испытаний для возможности поддержания американского ядерного оружия в ближайшем будущем (т.е., в течение следующих 10 - 15 лет).

Напротив, главным вопросом, стоящим перед программой, является то, как лучше всего сохранить и использовать накопленный при испытаниях опыт персонала ДЭ для понижения вероятности появления будущих проблем с арсеналом, которые могут возникнуть после того, как эти сотрудники покинут ДЭ. Для решения этих проблем было предложено несколько альтернативных стратегий, но в ДЭ серьезно рассматривался только один подход - готовить новое поколение разработчиков ядерного оружия, поручая им воспроизведение результатов

прошлых ядерных испытаний при помощи новых программ разработки ядерного оружия, основанных на базовых принципах понимания явления ядерного взрыва. Такое моделирование в принципе позволит проводить надежную модификацию и в будущем даже разработку оружия при помощи "виртуальных испытаний" на базе компьютеров и наземных экспериментов.

Альтернативный подход, с определенными политическими и техническими преимуществами по отношению к распространению, заключается в признании того, что опыт и мнения персонала, работавшего в ядерных испытаниях, не должны и, возможно, не могут быть заменены опытом нового поколения разработчиков ядерного оружия без возвращения к ядерным испытаниям. Напротив, следует приложить все усилия к тому, чтобы ограничить будущие изменения конструкции ядерного оружия для того, чтобы сузить круг проблем, которые могут возникнуть в будущем, теми проблемами, которые могут быть разрешены в рамках сохранившейся и строго охраняемой базы знаний по ядерному оружию. Этот консервативный, минимизирующий риск и защищающий нераспространение подход указывает на направление использования кадров ДЭ, имеющих опыт проведения испытаний, - пока они еще доступны нации - для детального описания и сертификации конфигураций ядерного взрывного блока для оружия, сохраняющегося в поддерживаемом арсенале, для того, чтобы можно было провести повторное изготовление этих компонентов на комплексе ДЭ с продолжающейся уверенностью в их характеристиках.

Вместо того, чтобы сделать упор на сертификацию продолжаемых спецификаций, требующихся для надежного повторного изготовления, стратегия, предпочитаемая ДЭ, направлена на использование уменьшающегося контингента квалифицированного для испытаний персонала в срочной программе разработки и подтверждения новых возможностей трехмерного моделирования, которые, как надеется ДЭ, позволят новому поколению разработчиков ядерного оружия (и никому другому) оптимизировать требования к повторному изготовлению, предсказывая, старение каких материалов будет ухудшать характеристики оружия, и, более вероятно, для реализации будущих изменений ядерных взрывных блоков оружия из арсенала.

Кажется, что в докладе Дрелла по САНУ признается слабость своих аргументов о международной приемлемости деятельности США по САНУ, когда в нем далее отмечается, что два указанных выше аргумента "могут быть недостаточными для полного снятия недоверия со стороны неядерных государств". Поразительно, однако, что в докладе предлагается "То, что может в конечном счете помочь снять эти подозрения, это как можно более полное рассекречивание программы по сопровождению." Далее в докладе отмечается:

"Вслед за последними действиями по рассекречиванию (в 1993 г.) большей части программы СИУ, от ее предшественника (лазера НОВА) до таких инструментов, как Национальная установка для поджига. Уже полностью рассекречен Центр нейтронных исследований. Часть программы импульсной энергетики в Сандии остается секретной, но многие параметры, включая температуру полости, рассекречены."⁵²

Далее в докладе Дрелла по САНУ переходят к предупреждению:

"Необходимо провести детальное исследование, принимая во внимание то, что уже известно за пределами программы оружия, для дальнейшего сокращения потребности в засекречивании как экспериментальных результатов, так и теоретических расчетов. Каждое ограничение на доступность программ расчета оружия должно быть обосновано с четкими аргументами с точки зрения предотвращения распространения... Только критические части программ расчета оружия, которые будут использоваться для анализа некоторых экспериментальных

данных, или непосредственно прилагаться для конструирования оружия, должны оставаться засекреченными... В целом, чем более открытой будет программа сопровождения, чем проще будет преодолеть подозрения, относящиеся к американским намерениям использовать программу как прикрытие для разработки нового оружия.⁵³

По этим стандартам очень мало должно будет оставаться закрытым, поскольку обычно невозможно доказать, что любое отдельное действие по ограничению распространения знаний об ядерном оружии будет способствовать "предотвращению" специфического и идентифицируемого действия по распространению ядерного оружия. Это в особенности справедливо сегодня, когда проблема распространения ядерного оружия в основном связана с распространением скрытых технических возможностей разработки и производства ядерного оружия, а не с более просто обнаруживаемой деятельностью по испытаниям, производству и развертыванию оружия, которая с большей вероятностью вызовет согласованное международное противодействие.

ВЫВОДЫ

Существует серьезная возможность того, что Соединенные Штаты намерены повторить ошибки программы "Атом для мира" 50-х г.г., когда ливень публичных заявлений о "мирном атоме" скрывал распространение чувствительной технологии ядерного топливного цикла, политической целью которого было создание противовеса решению США оставить цели разоружения и международного контроля за атомной энергией ради массивного строительства ядерного арсенала. Физик из Вашингтонского университета Джонатан Катц в не привлеченном особым вниманием и неопубликованном заявлении, расходящемся с докладом Дрелла по САНУ, в подготовке которого он участвовал, противопоставил подход САНУ к поддержанию сдерживающей мощи США подходу, который он назвал "курированием". Согласно такой стратегии новые установки, подобные НИФ, не строятся, "допускается атрофия способностей к разработке и конструированию, и сохраняются только тот опыт, который нужен для повторного изготовления оружия в соответствии с его начальными спецификациями." Профессор Катц отмечает, что подход курирования предпочтительнее подхода САНУ, потому что "главной опасностью современного мира является распространение, и сопровождение усиливает эту опасность, а курирование ослабляет ее, сохраняя наши существующие ядерные силы."

"...Строительство и эксплуатация Национальной установки для поджига (НИФ) будут недешевы. Более опасны последствия для настоящей и будущей опасности распространения, НИФ соберет вместе оружейное и несекретное сообщества. Они будут тесно общаться друг с другом, работать на одних и тех же установках, сотрудничать в несекретных экспериментах, и доверять свои интересы и опасения друг другу. Информация и понимание будут диффундировать из секретного мира в несекретный, без какого бы то ни было технического нарушения секретности. Желание стать известным и добиться успеха в карьере за счет публикаций в открытой литературе распространятся из несекретного мира в секретный.

Инерциальный (в основном лазерный) синтез точно так же за последние 25 лет привел секретное и несекретное сообщества к интеллектуальному и географическому контакту. Последствием этого стало рассекречивание многих концепций и данных, относящихся к ядерному оружию. Хорошо известно, что в физике инерциального синтеза и ядерного оружия много общего. Несекретное сообщество инерциального синтеза переоткрыло технологию ядерного оружия, а секретное сообщество было с успехом принуждено рассекретить ранее секретные

концепции, некоторые из которых имели отношение к инерциальному синтезу, а некоторые и не очень...

Этот процесс будет продолжаться и в программе НИФ, которая предоставит несекретному миру технику и средства для переоткрытия физики ядерного оружия и (косвенно) для развития понимания и вычислительных средств для разработки оружия. Понижение барьеров для распространения как атомного, так и термоядерного оружия не служит национальным интересам.⁵⁴

В дополнение к обширным последствиям САНУ в области распространения, обсуждающимся в данной статье, возникают неизбежные вопросы, относящиеся к конкретным походам использования импульсной энергетики и взрывчатых веществ для инициирования синтеза. Если такие эксперименты не запрещены ни ДНЯО, ни ДВЗЯИ с каким-либо промежуточным пределом на выход нейтронов синтеза, или без него, то кто будет проводить такие эксперименты? Без дальнейшего уточнения, представляется, что Германия, неядерное государство по ДНЯО, и, возможно, другие, оставляют за собой легальное "право", пусть и без немедленного намерения, поступать подобным образом (см. табл. 1, сноску в). Должно ли поэтому международное сообщество спокойно относиться к проведению подобных экспериментов *любым* неядерным государством?

Стремясь создать "технически перспективную" программу исследований по моделированию ядерного оружия для замены непрерывного цикла разработки и испытаний ядерного оружия, который исторически поддерживал замкнутую и расточительную научную среду в национальных лабораториях по разработке ядерного оружия, действующие менеджеры американского комплекса ядерного оружия поставили принимающих политические решения перед Гобсоновским выбором между двумя ложными альтернативами - или купить всю концепцию "виртуальных испытаний" стоимостью в 4,5 миллиарда долларов вместе с содержащимися в ней опасностями распространения, или потерять уверенность в надежности и безопасности арсенала в середине следующего десятилетия. Как мы указывали в данной статье и во многих других местах, это ложный выбор, основанный на нанизывании ложных доводов.

Во-первых, история программы надзора над арсеналом показывает, что взрывные ядерные блоки действующего американского ядерного оружия могут поддерживаться (в отличие от разработки или улучшения) на протяжении времени без ядерных испытаний. Следовательно, "сопровождение" арсенала, согласующееся с заявленной целью ДВЗЯИ ограничить разработку и качественное улучшение ядерного оружия, не должно, с технической точки зрения, искать способа обойти эти ограничения с помощью тщательно разработанной программы "виртуальных испытаний".

Во-вторых, нет внутренней необходимости в предсказании (посредством сложных вычислений) появления эффектов старения и того момента, когда их совместное воздействие начнет приводить к серьезному ухудшению параметров ядерного оружия, - нужно только обнаружить ухудшение, которое превышает, в случае ядерных взрывных блоков, ранее показанные параметры, соответствующие удовлетворительным характеристикам, а в случае прочих компонентов - проверяемые параметры, соответствующие удовлетворительным характеристикам; это же относится и к влиянию старения на такие компоненты, которые не охватываются существующим набором данных, но которые могут быть всесторонне проверены. Хотя такой подход может привести к худшему по сравнению с "оптимальным" графику повторного изготовления ядерных взрывных блоков, мы не встречались с анализом, который предполагает, что подобные дополнительные затраты смогут даже приблизиться к тем значительным дополнительным расходам на ускоренную программу ДЭ по моделированию ядерных взрывов. Более того, если размеры арсеналов в будущем уменьшатся (можно надеяться, что значительно), то любая экономия расходов соответственно уменьшится, так что по-

добная экономия станет незаметной по сравнению с большими капитальными затратами и ежегодными фиксированными расходами на программу САНО. Но даже если бы такой подход принес существенную экономию, следует сравнивать ее с опасностью распространения для существующей программы, и такое сравнение заставляет считать выбранный ДЭ подход сомнительным.

В-третьих, хотя авторы и не видят убедительных причин для таких подходов в чисто техническом аспекте, существующие ядерные взрывные блоки могут быть интегрированы в новые или модифицированные системы бомб или боеголовок, и такие системы, в свою очередь, могут быть приспособлены к новым или модифицированным системам доставки, без обращения к высокоразвитым, но уязвимым к распространению, действиям по моделированию оружия из "первых принципов", предпринимаемым в настоящее время в ДЭ. Другими словами, в рамках ДВЗЯИ многие из эксплуатационных характеристик систем ядерного оружия могут быть адаптированы (внутри пределов, налагаемых кругом подтвержденных характеристик существующих ядерных взрывных блоков) для изменения военных задач без дополнительного риска распространения, сопровождающего обширную и все более рассекречиваемую программу моделирования ядерных взрывов "на научной основе", физику оружия и эксперименты по синтезу. Улучшенные корпуса, радиолокаторы, высотомеры, системы подачи ускоряющего газа, нейтронные генераторы, детонаторы, системы предохранения и подрыва, кодовые замки, - все это может быть разработано и включено в системы ядерных бомб и боеголовок без изменения конструкции ядерного взрывного блока.

В свете этих технических реалий имеются законные причины интересоваться тем, что именно движет американский процесс принятия решений к безоговорочному принятию рисков программы САНО в аспектах финансов, технологии и распространения. У нас имеется предварительный ответ на этот вопрос, и его природа в основном является институциональной и политической. Поскольку администрация Клинтона так мало сделала для изменения направлений, по которым оборонная бюрократия США должна думать о будущей роли и задачах ядерного оружия для поддержки политики безопасности США, активный и политически плодотворный инстинкт самосохранения американского комплекса разработки и исследований по ядерному оружию заполнил политический вакуум, продвигая программу, которая, по сути дела, обеспечивает сохранение всех существующих возможностей по разработке ядерного оружия, и, где возможно, усиливает их. В результате появилась весьма амбициозная суррогатная программа исследований и разработок ядерного оружия, которая интегрирует сильно расширенные вычислительные возможности, сбор фундаментальных данных о входящих в состав бомбы материалах и взрывных процессах, и комплексную демонстрацию возможностей предсказания программ для разработки оружия на основе новых мощных экспериментальных установок.

Нам говорят, что все эти действия в конечном счете оправдываются не современным состоянием российской или другой ядерной угрозы безопасности США или их союзникам, которая находится сейчас на самом низком уровне за последние пятьдесят лет, но двумя другими факторами: (1) необходимость поддерживать надежный "барьер" ядерного сдерживания против неопределенного будущего, в котором может снова потребоваться что-нибудь вроде комплекса возможностей по разработке ядерного оружия времен холодной войны; и (2) необходимость оставить убедительный и "гибкий" фактор ядерного сдерживания против применения биологического и химического оружия так называемыми "странами-негодаями".

Однако, трудно представить себе любую угрозу национальной безопасности, для которой рациональным ответом было бы возобновление гонки вооружений, а американские притязания на необходимость дальнейшей разработки ядерного оружия для применения против химической или биологической угроз просто приглашает

прочие страны к приобретению ядерного сдерживания.

Все это однозначно приводит к выводу о том, что более компактная, технически ограниченная, и строго целенаправленная программа сопровождения арсенала США должна обеспечить адекватную защиту как против невероятного возобновления гонки ядерных вооружений, так и против распространителей оружия массового уничтожения, одновременно служа лучшим образом как техническим, так и политическим задачам ядерного нераспространения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Одним из примеров исследований, выполняемых в рамках программы академического стратегического альянса ДЭ, является "Установка для моделирования динамического отклика материалов", разрабатываемая в Калтехе для создания виртуальной установки для физики ударных волн, или "виртуальной ударной трубы". Схема одной из конфигураций виртуальной ударной трубы показана на рис. 4. В планируемых виртуальных экспериментах Калтеха будет выполняться компьютерное моделирование: детонации заряда из взрывчатого вещества; эффектов воздействия ударной волны на испытываемые материалы (таких, как разрушение и фазовые переходы); и образующегося под действием ударной волны турбулентного сжимаемого потока и перемешивания на границе материалов. Для создания виртуальной ударной трубы в Калтехе планируется провести пять исследовательских инициатив:

- Моделирование фундаментальных процессов детонации.
- Моделирование динамического отклика твердых тел.
- Расчет свойств материалов из первых принципов.
- Расчет сжимаемой турбулентности и перемешивания.
- Создание расчетной и научно-вычислительной инфраструктуры.

Во всех конструкциях ядерного оружия используется детонация взрывчатого вещества, образующая ударные волны в материалах, наиболее значимые в плутонии и уране, но проявляющиеся и в легких компонентах бомбы. В американском ядерном оружии (как развернутом, так и находящемся в резерве) используются взрывчатые вещества на основе ТАТБ (нечувствительное) или октогена (чувствительное) с пластмассовой связкой⁵⁵. Экспериментальные, теоретические и расчетные исследования взрывчатых веществ являются ключевым исследованием направлением американской программы ядерного оружия. Инициированная ударной волной симметричная имплозия расщепляющегося материала является основным методом реализации цепной ядерной реакции со значительным энерговыделением в первичном компоненте термоядерного оружия.

В настоящее время ДЭ использует несколько так называемых "гидроиспытательных" установок для проведения экспериментов по имплозии с подкритическими или нерасщепляющимися первичными сборками. В полномасштабных экспериментах в первичном компоненте используется нерасщепляющийся материал, такой, как обедненный уран, или плутоний-242, в котором не происходит цепная реакция, но под действием ударной волны происходит сферическая, полусферическая или цилиндрическая имплозия, что позволяет исследовать первичные явления - свойства и поведение оружейных материалов на различных стадиях сжатия. По программе стратегического сопровождения и управления ДЭ строит в Лос-Аламосе гидроиспытательную установку нового поколения, двухосную радиографическую установку для гидродинамических испытаний (ДРУГИ). Проводится модернизация Ливерморской гидроиспытательной установки (установки рентгеновской вспышки, или УРВ) для того, чтобы обеспечить обеим лабораториям по разработке ядерного оружия современные возможности для получения временной последовательности радиографических изображений внутренних частей плотных сжимающихся

объектов, таких, как плутониевое ядро первичного компонента оружия.

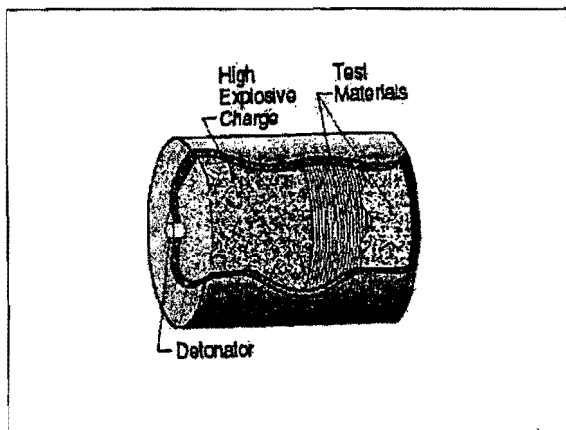


Рисунок 4: Схема виртуальной ударной трубы Калтеха, показывающая детонатор, заряд взрывчатого вещества, и испытываемые материалы.

На "Установке по моделированию динамического отклика материалов" Калтех организует междисциплинарную группу для улучшения существующих возможностей моделирования детонации взрывчатых веществ. Тенденции в этой области отмечены в их исследовательском предложении по программе альянса:

"С увеличением масштаба длины модели детонации взрывчатых веществ становятся менее строгими и более эмпирическими и, в конце концов, на макроскопическом уровне модели становятся надежными только в том случае, когда детально прокалиброваны в экспериментах с конкретными материалами."⁵⁶

Ученые Калтеха предлагают провести изучение молекулярной и электронной структуры взрывчатых веществ, разработать детальные модели химических реакций (для конкретных взрывчатых систем) и исследовать "взаимодействие химии с механической деформацией". Последняя задача нацелена на лучшее понимание того, как будут изменяться химические реакции, когда взрывчатые вещества будут подвергаться большому напряжением (например, на фронте ударной волны, или на границе кристаллических зерен взрывчатых веществ и пластмассовой связки).

Калтех заявляет, что ожидает, что вычислительные возможности программы УСВИ позволят моделировать детонацию макроскопического образца взрывчатого вещества, используя описание процесса на молекулярном уровне⁵⁷. При успехе такой подход будет обладать преимуществами перед имеющимися возможностями, в которых, по мнению Калтеха, компьютерное моделирование на молекулярном уровне и макроскопическое моделирование выступают как независимые направления.

По отношению к детонации взрывчатых веществ планы центра в Калтехе выходят за рамки базовых исследований и компьютерного моделирования и предусматривают исследовательской компьютерной установки, которая, как заявлено, будет использоваться в американской программе ядерного оружия:

"Взрывчатые вещества являются ключевым компонентом ядерного оружия и реалистическое моделирование детонации взрывчатых веществ долгое время было темой исследований по надежности, безопасности и характеристикам, проводившихся в лабораториях оборонных программ. Главная часть, поставляемая из этого раздела ("Моделирование фундаментальных процессов детонации") будет включена в комплекс решения задач... Наша вычислительная среда предоставит исследователями по

программе УСВИ средства для систематического исследования химических, механических и расчетных проблем при помощи высоконадежного моделирования детонации."⁵⁸

Эта вычислительная среда является развитием программы Калтеха АМРИТА⁵⁹ от двух измерений до трех с включением обсуждавшихся выше исследований по моделированию на молекулярном уровне. АМРИТА является одной из нескольких программ-кандидатов, которые могут быть выбраны Калтехом для создания виртуальной ударной трубы. Экспериментальное подтверждение моделирования детонации "будет проводиться в экспериментах по газовой детонации в Калтехе и в экспериментах со взрывчатыми веществами на установках в лабораториях оборонных программ"⁶⁰.

Часть работы по программе альянса Калтеха, посвященная "Моделированию динамического отклика твердых тел", содержит два исследовательских компонента, относящихся к моделированию отклика твердых тел на сильные ударные волны: (1) механизмы деформации и разрушения материалов (например, раскалывания); и (2) полиморфные фазовые переходы (переходы материала из одной твердой фазы в другую, например, перегруппировка атомов с образованием новой кристаллической структуры). "Необходимо разработать алгоритмы описания таких процессов в многомерных эйлеровских и лагранжевых схемах."⁶¹ Также, как в исследованиях детонации в центре в Калтехе, в центре исследовательской проблемы лежат вопросы моделирования явлений в диапазоне масштабов длины шириной в несколько порядков величины:

"Ключевым требованием к моделированию отклика твердых тел на сильные ударные волны является разрешение многих масштабов длины, перекрывающих серую зону между атомистическим и непрерывным поведением. Мы разработали квазинепрерывный метод, объединяющий сильные стороны атомистической и континуальной теорий, и позволяющий нам одновременно рассматривать без труда многие масштабы."⁶²

Получая финансирование от программы академического альянса, Калтех расширит этот метод до трех измерений и приложит его к динамическим проблемам (в отличие от в основном статических). Калтех обращает внимание ДЭ на то, что в настоящее время количественное описание фазовых переходов в твердом теле, обычных для материалов под действием ударных волн, отсутствует (в виде, пригодном для включения в программы). Калтех предлагает моделировать полиморфные переходы в двуокиси кремния (SiO_2), двуокиси титана (TiO_2), хлористом натрия (поваренной соли, NaCl), железе (Fe), окиси железа (FeO), бериллии (Be), боре (B), тории (Th), уране (U), и цирконии (Zr)⁶³. Согласно предложению Калтеха, "создание новых радиографических установок в лабораториях оборонных программ ДЭ (таких, как ДРУГИ) предоставит дополнительные возможности для экспериментального подтверждения нового подхода к моделированию."⁶⁴

Раздел исследований Калтеха по программе альянса, посвященный "Расчету свойств материалов из первых принципов", описывает исследования, касающиеся практически всех других аспектов работы центра. И снова во главе обсуждений стоит центральная проблема моделирования явлений в широком диапазоне масштабов длины:

"В этом разделе мы предлагаем иерархический подход к моделированию материалов, в котором параметры определяются из квантовой механики через усреднение по достаточно большому масштабам времени и длины. Этот подход ведет к точному описанию параметров континуума, необходимых для описания инициирования трещин, раскалывания, химического разложения и т.п. Эта вычислительная методология направлена на расчет фазового пове-

дения металлов, кинетики реакций, относящихся к взрывчатым веществам, и структурной информации для металлических сплавов (включая актиниды) при высоких температурах и давлениях.⁶⁵

Поскольку плутоний и уран (актиниды) используются в ядерном оружии, то в США существуют указания по засекречиванию их уравнений состояния этих материалов⁶⁶. Диапазон давлений, в котором Калтех собирается проводить исследования по контракту программы альянса (до 1 ТПа = 10^{12} паскалей), перекрывается с диапазоном давлений, в котором уравнения состояния нептуния и плутония считаются секретными (выше 20 кбар или 0.002 ТПа), и характерен для давлений, наблюдающихся в ядерном взрыве.

В декабре 1997 г. секретарь ДЭ Фредерико Пенья провел пресс-конференцию, на которой были представлены результаты фундаментального обсуждения секретности. В отчете группы фундаментального обсуждения политики секретности под руководством бывшего директора национальной лаборатории Сандия Альберта Нарата обсуждается изменение контекста базовой физики по отношению к ядерному оружию:

"Засекречивание научной информации, относящейся к разработке ядерного оружия, следует рассматривать несколько иным образом. Ограниченные ресурсы становятся и, скорее всего, останутся существенным ограничением в управлении процессом получения необходимых научных знаний. Однако, в течение последних 40 лет наблюдался быстрый и поддерживающийся прогресс в областях науки, тесно связанных с технологией ядерного оружия - астрофизике, физике конденсированной среды, высокотемпературных экспериментах и разработке компьютеров и программ. Эти ресурсы могут быть использованы в программе САНО благодаря поощрению научного обмена между американскими учеными и мировым сообществом.

Без ядерных испытаний уверенность в надежности и безопасности арсенала будет зависеть от способности привлечения и удержания способных ученых и инженеров. Их желание связать свою карьеру с областью ядерного оружия может быть укреплено тем, что их научные достижения будут признаны и поддержаны рецензентами в открытой и несекретной области.⁶⁷

До недавнего времени отсутствие доступа к экспериментальным установкам, в которых могут достигаться условия, близкие к тем, которые встречаются в ядерном взрыве, ограничивало область несекретных или неправительственных исследований в чувствительных областях. Однако, группа анализа политики завилла, что обычная наука развивается в областях, имеющих отношение к оружию. По их мнению, сохранение качества персонала в программе ядерного оружия требует разрешения публикации исследований по программе САНО в открытой печати. Тут можно видеть рефлексивное предпочтение очевидного требования поддержания и усиления односторонних ядерных возможностей США опасениям международного распространения. Группа анализа политики убеждает, что лучше распространять наши исследования по физике ядерного оружия, чем подвергать опасности их качество, скрывая достижения специалистов оружейной программы, отталкивая самых лучших от посвящения своей профессиональной карьере работе над ядерным оружием.

В отчете группы фундаментального обсуждения политики секретности содержится и некоторые рекомендации по поводу засекречивания теоретических и экспериментальных результатов по уравнениям состояния⁶⁸.

В последнем разделе программы Калтеха будут изучаться некоторые из тех очень сложных явлений, относящихся к турбулентному перемешиванию плутония и дейтериево-тритиевой смеси в первичном компоненте (или дейтерида лития и урана во вторичном компоненте), которые до сих пор не были доступными адекватному

расчетному моделированию, что усиливало зависимость от ядерных испытательных взрывов в обеспечении уверенности в новых или модифицированных конструкциях ядерных взрывных блоков⁶⁹.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Вообще говоря, "средства иницирования" являются внешними средствами увеличения энергии топлива для синтеза, такими, как облучение маленькой капсулы, наполненной смесью газообразного дейтерия и трития, лазерным излучением. Если топливо доводится до состояния, в котором происходит достаточное количество реакций синтеза, то энергия, высвобождаемая из сгораемого топлива, может быть поглощена в остающемся несгоревшем топливе, обеспечивая вторичный (как правило, самораспространяющийся) источник энергии.
2. Исследования и разработки по взрывчатым веществам с повышенным энерговыделением в рамках программы САНО обсуждаются в статье "Transforming Explosive Art into Science", *Science and Technology Review*, Lawrence Livermore National Laboratory, (June 1997). Адрес страницы в сети "Интернет": http://www.llnl.gov/str/06_97.html.
3. Сообщают, что эта сделка включала обширную библиотеку данных по уравнениям состояния (УС) урана и плутония, полученных в ходе примерно 100 советских гидроядерных испытаний с выходом ядерной энергии менее 100 кг тритиевого эквивалента. См. Cochran, T.B., and Paine, C.E., *The Role of Hydronuclear Tests and Other Low-Yield Nuclear Explosions and Their Status Under A Comprehensive Test Ban*, Natural Resources Defense Council, Inc., Washington, D.C., (April 1995), p. 16 and *USSR Nuclear Weapon Tests and Peaceful Nuclear Explosions, 1949 Through 1990*, Physical Technological Center, Russian Federal Nuclear Center-VNIIEF, Sarov (1996), p. 7, ISBN 5-85165-062-1.
4. *Sandia Lab News*, (September 15, 1995), p. 4.
5. *DOE This Month*, (October 1995), p. 5.
6. National Academy of Sciences Committee for the Review of the Department of Energy Inertial Confinement Fusion Program, DOE Notes of Meeting held at Los Alamos and Sandia, (November 3-5, 1996), p. 4.
7. В этом отчете на них ссылаются как на "JASONS".
8. Цитируется в письме от членов группы JASON С. Дрелла и Р.Л. Гарвина к секретарю Департамента энергетики Хэзел Р. О'Лири (October 28, 1996), p.2.
9. "Signatures of Aging", Study Leader: S. Drell, R. Jeanloz, JASON, The MITRE Corporation (January 1998), JSR-97-200, p.2.
10. "Наша задача состоит в том, чтобы помочь американскому правительству быть уверенным в том, что никто в мире не усомнился в том, что Соединенные Штаты имеют возможность направить превосходящие силы для защиты своих жизненных интересов. Позвольте мне объяснить более подробно, что я подразумеваю под этим заявлением. Фраза "быть уверенным в том, что никто в мире не усомнился" означает, что от нас требуется продемонстрировать надежность научно-технической поддержки нашего ядерного арсенала. Когда Соединенные Штаты проводили подземные ядерные испытания, любой желающий мог оценить мощь нашего оружия при помощи сейсмометра. Эти испытания вместе с полетами наших ракет и испытаниями других систем подтверждали не только возможности нашего оружия, но силу нашей решимости поддерживать их в безопасном и надежном состоянии. Теперь, когда ядерные испытания отсутствуют, кое-кто может начать думать, что наши возможности и наша решимость ослабли до такой степени, что мы не захотим или не сможем использовать оружие из нашего ядерного арсенала. Мы не должны позволять им таких мыслей. Надежность нашей деятельности по поддержанию арсенала имеет прямое отношение к

- способности нашей нации "направить превосходящие силы для защиты своих жизненных интересов". Ядерное оружие уникально по своей возможности нанести цели серьезные повреждения - стремительно и надежно. Эти критерии помещают его в категорию, фундаментально отличную от обычного оружия, или даже от химического и бактериологического оружия. Ядерное оружие - это "большая дубинка", защищающая нашу родину и окончательная сдерживающая сила против любого потенциального агрессора". Выступление Зигфрида С. Хекера, директора Лос-Аламосской национальной лаборатории на слушаниях подкомиссии по стратегическим силам комитета по вооруженным силам Сената Соединенных Штатов, 19 марта 1997 года.
11. Younger, Dr. Stephen, LANL Program Director, Nuclear Weapons Technology, *Weapons Insider*, (November/December 1996), pp. 1-2.
 12. Там же.
 13. Program of the Thirty-Ninth Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, *Bulletin of the American Physical Society*, Vol. 42, No. 10, доступно по сети "Интернет" (<http://www.aps.org/BAPSDPP97>).
 14. Cauble R., T.S. Perry, D.R. Bach, K.S. Budil, B.A. Hammel, L.B. DaSilva, P. Celliers, G.W. Collins, and R.J. Wallace, "Equation of State Measurements of NIF Ignition Capsule Ablator Materials", *Bulletin of the American Physical Society*, Vol. 42, No. 10, p. 2029. В экспериментах, описанных Коблом, были проведены абсолютные измерения уравнения состояния (УС) для полистирола (CH) в диапазоне давлений от 10 до 40 Мбар и бериллия (Be) в диапазоне давлений от 10 до 15 Мбар при помощи абляционного удара по полистиролу с добавкой брома (Br), укрепленному прямо в полости (добавка брома использовалась для увеличения непрозрачности пластмассы для подсвечивающего сзади рентгеновского излучения, т.е. для создания более контрастного изображения по сравнению с образцом). Полученные при подсветке рентгеновскими лучами изображения двумерны, и представляют собой графики зависимости времени от положения (положение измеряется вдоль образца из легированной бромом пластмассы или бериллия). На "прозрачках", представленных в докладе Кобла, и на рисунке 2 в статье в *Physical Review Letters*, ясно видны ударный фронт, движущийся по легированному бромом полистиролу, ударный фронт, движущийся по образцу, и движение вещества на границе раздела между легированным бромом полистиролом и образцом. По этому изображению можно определить скорость ударной волны и скорость частиц за фронтом ударной волны. Эти скорости позволяют определить адиабату Гюгонио (или ударную адиабату) для вещества, которая, в свою очередь, может быть использована для определения УС.
 15. Cauble R., T.S. Perry, D.R. Bach, K.S. Budil, B.A. Hammel, G.W. Collins, D.M. Gold, J. Dunn, P. Celliers, L.B. DaSilva, M.R. Foord, R.J. Wallace, R.E. Stewart, and N.C. Woosley, "Absolute Equation-of-State Data in the 10 - 40 Mbar (1 - 4 Gpa) Regime", *Physical Review Letters*, Vol. 80, No. 6, (February 9, 1998) p. 1248.
 16. QEOS - это модель уравнения состояния по Томасу-Ферми, со ссылкой на More, R.M., K.H. Warren, D.A. Young, and G.B. Zimmermann, *Physics of Fluids*, Vol. 31, 3059 (1988). Ссылка на библиотеку УС SESAME - это Lyon, S.P., and J.D. Johnson, Los Alamos National Laboratory Report No. LA-UR-92-3047, (1992). На "LLNL EOS" ссылаются как на "широко используемую модель УС" в статье в *Physical Review Letters* со ссылкой на Ливерморский отчет 1975 года F.H. Ree, UCRL-51885.
 17. Cauble R., et al., *Bulletin of the American Physical Society*, Vol. 42, No. 10, p. 2029.
 18. LANL, *Weapons Insider*, (March 1996), p.2.
 19. "ASCI Academic Strategic Alliance Program: Major Goals and Objectives", этот материал можно найти в <http://www.llnl.gov/asci-alliances/asap/goals.html> в сети "Интернет" (последнее изменение 27 ноября 1996 года).
 20. Перечень присутствовавших на конференции по подготовке предложений для альянса по УСКИ в <http://www.llnl.gov/asci-alliances/asap/attendees.html> в сети "Интернет" (последнее изменение 20 декабря 1996 года).
 21. LANL, *Weapons Insider*, (March 1996), p.2.
 22. В процессе анализа участвовали представители национальных лабораторий по разработке ядерного оружия, правительства США, промышленности и академических организаций.
 23. На конференции по подготовке предложений для альянса по УСКИ Деррел Дж. Хаммер (руководитель группы НРСС из отделения закупок и материалов Ливерморской национальной лаборатории) на "прозрачке" с заглавием "Предварительный анализ предложений" в первой строчке поставил требование "Отношение к целям УСКИ и практичность". На "прозрачке" Хаммера с заглавием "Окончательные предложения" утверждается, что "беспристрастный анализ будет направлен на оценку достоинств и недостатков", но в то же время отмечается, что Департамент энергетики будет "отбирать наилучшую общую комбинацию дисциплин для выполнения целей УСКИ (мы не отбираем лучших предложений - подчеркнуто в оригинале)".
 24. "ASCI Strategic Alliances Program Research: Overview of the Background Papers", этот материал можно найти в сети "Интернет" по адресу <http://www.llnl.gov/asci-alliances/bb/001toc-bb.html> (последнее изменение 27 ноября 1996 года).
 25. Оборонные программы не дали Совету по защите природных ресурсов никакой информации по этим контрактам, за исключением подтверждения того, что Калифорнийский университет в Беркли получил финансирование по программе Академического стратегического альянса.
 26. "Компьютерные программы занимают особое место, поскольку они находятся в центре - в них сосредоточено все вместе. Очевидно, что мы не можем позволить чужим доступа к нашей информации по разработке ядерного оружия и к результатам ядерных испытаний, но может показаться менее очевидным, что по тем же причинам мы должны вводить ограничения по тому, что может быть сказано о наших программах. Позвольте мне объяснить, почему это так, и какого рода вопросы могут возникнуть у другой стороны, если она получит информацию об эволюции наших программ, и как она сможет их использовать. Они могут спросить: "Почему они работают над новыми программами?", или "Почему они планируют новые разработки?". Они могут определить, какие части наших программ заметно лучше предыдущих, и какие части остались теми же самыми. "Какие физические вопросы были улучшены и было ли что-то, что сначала было смоделировано не совсем верно и затем было исправлено?". Такая информация важна для противной стороны, потому что поскольку не ее основе она может предсказать возможные улучшения нашего оружия. И, наконец, "Какие вопросы они трактуют неправильно, и что это может означать в аспектах слабости конструкции их оружия, о которых они даже не догадываются?". Читата из доклада G.B. Henderson, "Computation: The Nexus of Nuclear Weapons Development", in Metropolis, N., D.H. Sharp, W.J. Worton, & K.R. Ames, eds. *Frontier Supercomputing*, University of California Press, (1986), p. 143.
 27. The National Ignition Facility (NIF) and the Issue of Nonproliferation, Final Study Prepared by the U.S. Department of Energy, Office of Arms Control and Nonproliferation (NN-40), (December 19, 1995), pp. 26-27.
 28. Там же.
 29. Там же, стр. 57.

30. Там же, стр. 41.
31. NAS Committee, DOE Notes for August 1-2, 1996, p. 10.
32. NAS Committee, DOE Notes for Nov. 3-5, 1996, p. 8.
33. Matzen, M. Keith, "Z Pinches as Intense X-Ray Sources for High-Energy Density Physics Applications", *Physics of Plasmas*, Vol. 4, Number 5, (May 1997), pp. 1519-1527.
34. "September 1997 Highlights of the Pulsed Power Inertial Confinement Fusion Program", Sandia National Laboratory, можно обратиться к странице "Интернет" <http://www.sandia.gov/pulspowr/hedict/highlights/hir9709.html>
35. "Z Machine on another dramatic climb toward fusion condition", *Sandia Lab News*, (February 27, 1998), p.1.
36. Там же, p. 4.
37. Singer, Neal, "Sandia formally proposes to design accelerator expected to produce high-yield fusion: z machine achieves final milestone, proposed X-1 next bif step", *Sandia Lab News*, Vol. 50, No. 7, (April 10, 1998), p.1.
38. U.S. DOE, Pulsed Power Research Center, Sandia National Laboratories, undated (c. 1995).
39. Menikoff, R., K. Lackner, N.L. Johnson, S. Colgate, and J. Hyman, "The Design of Gifhorse (U)", Los Alamos Scientific Laboratory document LA-11910-PR; *Defense Science*, (1990), pp. 20-28; Johnson, N.L., K. Lackner, J. Hyman, R. Menikoff, and A. Juveland, "History of Computations in Gifhorse (U)", Los Alamos Scientific Laboratory document LA-11910-PR; *Defense Science*, (1990), pp. 22-24; Colgate, S., M. George, P. Gobby, B. Gillespie, R. Steele, L. Veaser, N.L. Johnson, K. Lackner, and R. Menikoff, "Construction and testing of Gifhorse (U)", Los Alamos Scientific Laboratory document LA-11910-PR; *Defense Science*, (1990), pp. 29-38; Menikoff, R., K. Lackner, N.L. Johnson, S. Colgate, and M. George, "Results of a Recent Gifhorse Experiment (U)", Los Alamos Scientific Laboratory document LA-11910-PR; *Defense Science*, (1990), pp. 46-57; Johnson, N.L., K. Lackner, R. Menikoff, S. Colgate, and J. Colvin, "Future Directions of Gifhorse (U)", Los Alamos Scientific Laboratory document LA-11910-PR; *Defense Science*, (1990), pp. 58-62.
40. Magraw, K., "Teller and the 'clean bomb' episode", *Bulletin of the Atomic Scientists*, (May 1988), p.32.
41. *The Ill-rd Zababakhins Scientific Readings (abstract of reports)*, Dalnaya Dacha, Chelyabinsk Region, Ural, USSR, (January 14-17, 1992).
42. "Russian Collaboration on Megagauss Magnetic Fields and Pulsed Power Applications", можно найти по адресу <http://www.p22web.lanl.gov/group/russian/html> в сети "Интернет".
43. Заявление Пола С. Робинсона, директора национальной лаборатории Сандия, перед комитетом по вооруженным силам сената США, 13 марта 1986 г., стр. 10.
44. Jones, Suzanne L., and Frank von Hippel, "Transparency Measures for Subcritical Experiments under CTBT", *Science and Global Security*, Vol. 6, 1997, pp. 291-310. См. также Paine, C., "Memo to Ralph Earle, Deputy Director, ACDL Concerning the Status of Gas-Dynamic (Impact) Fusion Experiments under a CTB", (February 22, 1996), p.2 (неопубликованная заметка в архивах Комитета защиты природных ресурсов).
45. JSR-94-345, JASON/The MITRE Corp., (August 10, 1994), pp. 17-22.
46. JSR-94-345, p. 20.
47. Kidder, R.E., Report to Congress: Assessment of the Safety of U.S. Nuclear Weapons and Related Nuclear Test Requirements, UCRL-LR-107454, (July 26, 1991), p. 6.
48. С 1990-1992 г.г. профессор Дрелл убеждает Конгресс США и оборонное сообщество в том, что для разработки более безопасных версий некоторых американских боеголовок необходимо проведение дальнейших испытаний до запрещения испытаний.
- Конгресс, Объединенный комитет начальников штабов, и последующая администрация Клинтона решили, что рекомендуемая программа переработки боеголовок и ракет со стоимостью в миллиарды долларов приведет к риску радиационного облучения и травм военного персонала и контрактного персонала Департамента энергетики, который превышает риск для населения в результате постулированных аварий с распылением плутония из боеголовок, вероятность которых может быть уменьшена (если даже не полностью исключена) в результате изменения процедур обслуживания и хранения. Согласно условиям дополнения Хэтфилда-Эксона-Митчела, временный мораторий был наложен Конгрессом в сентябре 1992 г., дважды был продлен администрацией Клинтона, и стал постоянным после 30 сентября 1996 г., если только президент не подтвердит Конгрессу, что другая страна не провела ядерного взрыва после этой даты. Договор о всеобъемлющем запрещении испытаний был открыт для подписи в Соединенных Штатах в сентябре 1996 года.
49. JSR-94-345, p. 17.
50. Sandia Report SAND95-2751, *Stockpile Surveillance: Past and Future*, p. 8 and Figure 4.
51. Письмо от Роберта Л. Пурифои, бывшего вице-президента Национальной лаборатории Сандия по технической поддержке, к сенатору Питу Доменичи (штат Нью-Мексико, республиканская партия), (17 декабря 1997 г.), Приложение 10, "Замечания к подготовленному заявлению д-ра Виктора Х. Рейса, помощника секретаря Департамента энергетики по оборонным программам, 17 октября 1997 г.", стр. 1.
52. JSR-94-345, p. 17.
53. JSR-94-345, p. 18.
54. Katz, J.I., "The Case Against Scientific Stewardship", Department of Physics, Washington University, St. Louis, Mo. 63310, (undated, circa late 1994).
55. ВВПК (взрывчатые вещества с пластиковой связкой) обычно используются в качестве взрывчатых веществ главного заряда в ядерном оружии. В настоящее время используются два типа ВВПК: LX-10 и LX-17. LX-10 - это взрывчатое вещество с очень высоким энерговыделением на основе HMX, в котором в качестве термопластической связки используется "Витон-А" (сополимер винилидинфторида и гексафторпропилена, изготавливаемый фирмой "Дюпон"); оно используется в ядерных боеприпасах W68 и W79. LX-17 - это взрывчатое вещество с меньшим энерговыделением на основе TATB, в котором в качестве связки используется "Кел-Ф 800" (сополимер хлоротрифторэтилена и винилидинфторида, изготавливаемый фирмой "ЗМ"). LX-17 рассматривается как нечувствительное взрывчатое вещество (НВВ), поскольку TATB - это исключительно нечувствительное взрывчатое вещество, которое фактически не может детонировать случайным образом. Оно используется в нескольких современных ядерных боеприпасах, например, в W83, W84, W87. Эти данные взяты из статьи "Formulating High Explosive Materials", *Energy and Technology Reviews*, Lawrence Livermore National Laboratory, (February 1988), p.25.
56. "A Facility for Simulating the Dynamic Response of Materials", California Institute of Technology, (August 14, 1997), Section 2.2.1, p.1. Предложение Калифорнийского технологического института по программе альянса можно найти в сети "Интернет" в <http://www.cacr.caltech.edu/~jpool/ASAP/proposal>. Отметим также, что это замечание может также иллюстрировать главную проблему сопровождения арсенала и УКСИ: в существующих программах по ядерному оружию отсутствует полное физическое описание, и для калибровки в них используются данные испытаний. Поскольку взрывчатые вещества играют в ядерном оружии столь важную роль, важность этого замечания для программы САНО не является простым совпадением.

57. Калифорнийский технологический институт рассматривает это как "микромеханический уровень" моделирования.
58. "A Facility for Simulating the Dynamic Response of Materials", California Institute of Technology, (August 14, 1997), Section 2.2.1, p.1.
59. СИОАУС - это аббревиатура для "Средства Интерактивного Обучения Адаптивному Уточнению Сетки". 16 апреля 1997 года профессор Джеймс Дж. Квирк прочитал в своем Калифорнийском технологическом институте лекцию по СИОАУС, Абстракт лекции включает следующую описательную информацию: "Хотя алгоритмы адаптивного уточнения сетки (АУС) развились до такой степени, когда они стали представлять надежное и экономичное средство расчета потоков, характеризующихся различными физическими масштабами, но они так и смогли из-за высокой стоимости их разработки оказать на научное сообщество то влияние, которого они заслужили. В попытке улучшить эту ситуацию хотя бы в одной небольшой области вычислительной гидродинамики (ВГД) я объединил свои средства программирования в операционную систему (Средства Интерактивного Обучения Адаптивному Уточнению Сетки), которое может быть использовано для начального обучения каждым, кто заинтересован войти в мир адаптивного уточнения сетки (АУС). Адрес страницы СИОАУС в сети "Интернет" таков: <http://www.galcit.caltech.edu/~jpg/>. Профессор Квирк является соисследователем в проекте Калифорнийского технологического института для программы Академического стратегического альянса. В разделе 2.4. предложения Калифорнийского технологического института ("Сотрудничество с лабораториями УКСИ") говорится: "Дж. Квирк и Дж. Шеперд изучают приложение СИОАУС к проблемам детонации, интересующим группу ДХ (Динамическое экспериментирование) Лос-Аламосской национальной лаборатории".
60. "A Facility for Simulating the Dynamic Response of Materials", California Institute of Technology, (August 14, 1997), Section 2.2.1, p.1.
61. Там же.
62. "A Facility for Simulating the Dynamic Response of Materials", California Institute of Technology, (August 14, 1997), Section 2.2.2., "Modeling dynamic response of solids", p.1.
63. Калифорнийский технологический институт заявил, что моделирование бериллия и урана не финансируется Департаментом энергетики. Однако, даже если это верно, расширение модели Калифорнийского технологического института на материалы ядерного оружия будет более простой задачей, чем разработка модели с самого начала.
64. Там же, стр. 2.
65. "A Facility for Simulating the Dynamic Response of Materials", California Institute of Technology, (August 14, 1997), Section 2.2.3., "First principles computation of materials properties".
66. По американским правилам засекречивания результатов расчетов и данных по уравнениям состояния, действовавших до 1997 г. (*Drawing Back the Curtain of Secrecy: Restricted Data Declassification Policy, 1946 to Present*, RDD-1, June 1, 1994, U.S. Department of Energy; адрес в сети "Интернет" <http://www.doe.gov/html/osti/opennet/document/rdd-1/drvcta.html>), несекретными считаются следующие данные:
- h. Исследования по уравнениям состояния (УС) для всех элементов при условиях, отличных от тех, которые раскрывают секретную информацию (67-1).
- i. Информация по УС и непрозрачностям для определенных материалов, не существенных для конструирования ядерного оружия (72-11).
- j. Рассчитанные по теоретическим моделям данные для некоторых материалов (для всех материалов с зарядом ядра менее 72, а при заряде в 72 и более только для данных по УС для тех материалов и давлений, которые не пригодятся для разработки ядерного оружия). (83-6).
- к. Информация, касающаяся УС, для:
- (1) статических данных для зарядов 93 и 94 при давлениях меньше или равно 20 кбар; (89-1)
 - (2) статических данных для зарядов более 94 при давлениях меньше или равно 1 Мбар. (89-1)
- Секретные версии этих правил засекречивания более конкретны. Набор элементов тяжелее лютеция ($Z = 71$, где Z - заряд атомного ядра, или, что то же самое, количество протонов или электронов в атоме) содержит элементы, уравнение состояния которых "может оказаться полезным для разработки ядерного оружия". Для нептуния ($Z = 93$) и плутония ($Z = 94$) области давления, в которых данные и результаты расчетов по уравнениям состояния несекретны, указываются точно. В своем исследовательском предложении по программе альянса Калифорнийский технологический институт указал (см. стр. 2):
- "Мы предлагаем применить метод, который мы использовали для железа, для изучения уравнения состояния набора переходных металлов 3d, 4d, и 5d в диапазоне вплоть до ультравысоких давлений (1 Тпа)... однако, в некоторых системах, к которым применялся метод, появлялись большие ошибки и встречались проблемы с возбужденными состояниями и с актинидами. Мы предлагаем два подхода для решения этой проблемы...".
- Металлы переходной группы 5d располагаются от гафния ($Z = 72$) до золота ($Z = 79$) в том диапазоне масс, к которому могут быть применены правила засекречивания. Как отмечалось выше, правила засекречивания явно сформулированы для актинидов.
67. "Report of the Fundamental Classification Policy Review Group", Dr. Albert Narath Chari, Unclassified Version (Classified Material Has Been Removed), issued by the Department of Energy, (December 1997), pp. 30-31.
68. Там же, стр. 31.
69. "A Facility for Simulating the Dynamic Response of Materials", California Institute of Technology, (August 14, 1997), Section 2.2.4., "Compressible Turbulence and mixing", p. 1.