

Развитие систем нейтронного инициирования в США

И. А. АНДРЮШИН, А. К. ЧЕРНЫШЕВ

Одним из важных элементов ядерного оружия является система нейтронного инициирования цепной реакции. Как и другие принципиальные компоненты ядерного оружия эта система прошла свой путь, связанный с повышением характеристик ядерных зарядов и улучшением их эксплуатационных качеств. Рассмотрим кратко ряд основных этапов развития системы нейтронного инициирования ядерного заряда США.

1. Внутренний нейтронный источник. Первые нейтронные источники США работали на основе α - n реакции, происходящей в условиях перемешивания слоев полония-210 с бериллием, которые первоначально были пространственно разнесены и разделены тонкими перегородками из золота, поглощающего α -частицы. Источник был законвертован в слой никеля, размещался в центре заряда («плутониевого ядра») и срабатывал при его разрушении сферически сходящейся ударной волной.

Первый серийный источник (Urchin) имел радиус ~ 10 мм и содержал ~ 50 Кюри полония-210. Штатный выход нейтронов составлял 30 нейтронов/ 10^6 α -частиц или ~ 50 нейтронов/мкс. Относительно низкая интенсивность нейтронного источника предполагала достаточно длительную его работу; требовался необходимый набор поколений для надежного инициирования после начала работы источника. За это время в центре ядерного заряда могли происходить значительные газодинамические изменения. Такой нейтронный источник (в отечественной терминологии НЗ) требовал прецизионного изготовления и обеспечения устойчивости его работы при эксплуатации, в частности, в условиях вибрационных нагрузок в самолете.

Небольшой период полураспада полония-210 (138,5 суток) требовал достаточно частой замены источников. Как правило, такие источники хранились отдельно от делящихся материалов. Определенные проблемы были связаны со значительным тепловыделением (при активности в 50 Кюри тепловыделение составляло $\sim 1,5$ Вт), а также с воздействием влаги (происходило электролитическое взаимодействие ли-

тия с бериллием, которое разрушало оболочку источника).

Важным вопросом являлась оптимальность момента нейтронного инициирования. При больших массах делящихся материалов момент фокусировки и момент максимального сжатия (надкритичности) могли существенно отличаться; процесс нейтронного инициирования НЗ являлся неоптимальным, а энергосодержание ядерного заряда не достигало возможного максимального значения. Рассматривались различные схемы внутренних нейтронных инициаторов. Так, в июле 1946 г. К. Фукс и Р. Шерр запатентовали нейтронный источник, который в условиях имплозии активировался не сходящейся, а отраженной ударной волной, что позволяло обеспечить ядерный взрыв на больших плотностях делящегося материала.

Значительный объем ядерного арсенала требовал большого количества полония-210. При объеме боезапаса США в 1950 г. в 300 ядерных боеприпасов для компенсации процесса распада требовалось производство полония $\sim 3 \cdot 10^4$ Кюри в год. Известно, что производство полония-210 в конце 1947 г. составляло $\sim 6 \cdot 10^3$ Кюри в год. В октябре 1946 г. Э. Теллер предложил создать специальную программу исследований по нейтронным источникам. Он отмечал, что большой объем боезапаса приведет к очень большому объему производства полония-210 и производство НЗ будет являться существенным лимитирующим фактором роста боезапаса. В связи с этим он высказал мнение, что для некоторых видов зарядов нейтронные инициаторы не являются необходимыми.

В феврале 1947 г. GAC (Главный консультативный комитет при Комиссии по атомной энергии США) отметил, что проблема нейтронных инициаторов требует большой работы; современные инициаторы производятся из «неудачных» материалов из-за их дороговизны и короткого времени службы и, что все возможности их замены должны быть исследованы. Комиссия США и ЛАНЛ начали долгосрочную программу исследований в этих целях, в том числе с использованием более долгоживущих α -источников. Другая возможность связывалась с использованием

внешних нейтронных источников. Это позволяло исключить вопросы, связанные с заменой короткоживущих внутренних нейтронных источников, обеспечить более простое иницирование и в необходимое время. С другой стороны, только небольшая часть нейтронов внешнего источника попадала в делящийся материал, также требовалось прецизионное обеспечение времени их работы.

К этому времени в ЛАНЛ был разработан новый полониево-бериллиевый инициатор «ТОМ», который в январе 1950 г. был внедрен в боеприпас Mk-5. В отличие от инициаторов, разработанных до этого, он не имел в центре «левитирующего» (подвешенного) ядра и был меньших размеров. Инициатор «ТОМ» был впервые испытан в натурном эксперименте Baker-1 28 января 1951 г. в составе атомной бомбы Mk-4. Крупномасштабное производство и внедрение в боезапас нового инициатора началось уже в октябре 1950 г., то есть еще до натурального испытания. В конце мая 1951 г. все новые типы ядерных боеприпасов должны были использовать новый инициатор, а детали из делящихся материалов из боезапаса конвертировались под новый инициатор.

2. Разработка первых внешних нейтронных источников. Возможность создания внешних нейтронных источников рассматривалась в ЛАНЛ вскоре после окончания Второй мировой войны. Отметим, что 30 марта 1945 г. И. В. Курчатов в отзыве на материал, поступивший из ГРУ Генштаба под заголовком «О немецкой атомной бомбе», отмечал, что «материал исключительно интересен». Кроме описания конструкции немецкой атомной бомбы на уране-235, в материале отмечалось, что «запал урана осуществляется быстрыми нейтронами, генерируемыми при помощи высоковольтной разрядной трубки, питаемой от специальных генераторов». Эта информация должна быть известна и специалистам США.

Исторически первые «дейтерий-тритиевые» нейтронные генераторы (НГ) были связаны с использованием этой техники в период войны для изучения сечений Д-Т реакций в рамках проблемы водородной бомбы. Создание небольших внешних нейтронных генераторов могло повысить безопасность зарядов и обеспечить возможность регулировки их мощности. В конце 1940-х – начале 1950-х гг. изменение энерговыделения ядерных зарядов США обеспечивалось использованием взаимозаменяемых централь-

ных частей с различными массами и конфигурациями. Число вариантов уровней энерговыделения в одном типе атомной бомбы могло быть достаточно велико. При использовании внешних НГ регулировка мощности могла производиться за счет изменения времени подачи нейтронного импульса.

При использовании внутренних нейтронных источников обеспечение безопасности зарядов было связано с их отдельным хранением и с использованием специальных средств для обеспечения боевого режима. Внешний НГ мог рассматриваться теперь как новое средство безопасности. В дальнейшем, изменение характеристик нейтронного иницирования внешних НГ использовалось и для регулировки энерговыделения «стадийных» термоядерных зарядов.

Разработка внешних НГ была включена в программу ЛАНЛ в декабре 1949 г., и в лаборатории в этих целях создано специальное подразделение. В сентябре 1950 г. было рекомендовано ускорить работы по внешнему НГ. Вскоре после этого компания GE заключила контракт на поставку 6 бетатронов для работ по этой программе (с использованием высокоэнергетических гамма-квантов для генерации нейтронов). В течение 1951 г. развивалось несколько направлений по созданию внешних НГ на различных принципах. Однако, эти разработки не достигли той стадии, когда характеристики продукции и данные испытаний могли предсказываться с необходимой точностью. Отмечалось, что требуемое устройство могло быть создано в течение двух лет, то есть в 1953 г. Считалось, что лабораторная модель устройства могла быть создана для проведения натуральных испытаний в 1952 г. Одна из проблем состояла в том, что габаритные ограничения атомных бомб существовавшего боезапаса могли помешать внедрению внешних НГ. Прототип внешнего НГ был создан в ЛАНЛ в период между весной 1951 г. и концом 1954 г. Успех разработки сделал возможным использование герметичных центральных частей, которые не требовали радиоактивных источников с коротким временем жизни и привел к длинному пути создания высоконадежных и простых в эксплуатации ядерных зарядов.

3. Первые испытания. В феврале 1952 г. ЛАНЛ планировала проведение двух испытаний с внешним НГ в модели Mk-5. Предполагалось проведение калибровочного опыта с источником «ТОМ» и двух экспериментов по изучению

влияния времени иницирования внешним НГ на энерговыделение ядерного заряда. 25 мая 1952 г. на Невадском полигоне был проведен эксперимент Fox с использованием инициатора «ТОМ», который дал энерговыделение 11 кт, а 1 июня 1952 г. – эксперимент George с иницированием от бетатрона, который дал энерговыделение 15 кт. В обоих случаях использовались идентичные заряды. Третий опыт (с иницированием от бетатрона) Annie был проведен 17 марта 1953 г. и дал энерговыделение 16 кт, близкое к энерговыделению в опыте George. Отметим,

что в это же время активно проводились испытания и с внутренними нейтронными источниками. Так, в знаменитом испытании Mike первого термоядерного устройства на принципе радиационной имплозии нейтронное иницирование обеспечивалось источником Urchin, а в испытании урановой сверхбомбы King – инициатором «ТОМ» (1 ноября 1952 г. и 16 ноября 1952 г. соответственно).

Весной 1953 г. свои первые (неудачные) ядерные испытания провела Ливерморская национальная лаборатория. Это были опыты Ruth и Ray с использованием гидрида урана; нейтронное иницирование в этих опытах осуществлялось бетатроном; энерговыделение снизилось в несколько раз. Бетатроны рассматривались в качестве прототипов внешних генераторов, обеспечивая проведение испытаний. Сам по себе, бетатрон был слишком громоздким для использования в атомной бомбе и представлял слишком «деликатное» устройство для условий эксплуатации.

В середине 1952 г. создание внешнего НГ на основе дейтерия было объявлено в ЛАНЛ высшим приоритетом; однако, к концу года разработка не была адаптирована к боезапасу. Не было ответов на такие вопросы: как генераторы будут вести себя в составе бомбы в течение длительного хранения, температурных изменений, перепадов давлений и т. д. 19 мая 1953 г. было проведено испытание Harry с иницированием от бетатрона ядерного заряда с энерговыделени-



Вид на Лос-Аламос

ем 32 кт. По результатам этого опыта выданы рекомендации для внешнего НГ, который был назван ENS – экспериментальный нейтронный источник.

По результатам опытов 1953 г. были установлены: возможность замены внутреннего источника нейтронов на внешний НГ без потери эффективности заряда и возможность создания внешних НГ в приемлемых массогабаритных характеристиках. Возникла задача замены внутренних нейтронных источников в боезапасе: источника Urchin в Mk-3 и Mk-4, источника «ТОМ» в новых бомбах Mk-5, Mk-6 и Mk-7. При этом источники на основе полония сохранялись для ядерных зарядов на принципе сближения (Mk-8 – гравитационная «проникающая» бомба и Mk-9 – боеприпас для артиллерийского снаряда в калибре 280 мм). Однако, величина серий этих боеприпасов была невелика, что позволило радикально сократить объем производства полония-210.

4. Внедрение. Внешний НГ был впервые внедрен в боезапас США в конце 1953 г.; производство источников «ТОМ» было прекращено в октябре 1953 г. Все новые ядерные заряды имплозивного типа должны были использовать внешние НГ, а все источники «ТОМ» в боезапасе должны быть заменены на внешние НГ. При этом допускалась возможность небольших потерь в энерговыделении; однако, выигрыши за счет сокращения полониевого производства,

упрощения эксплуатации были несравненно выше.

В середине 1954 г. внешние НГ были существенно уменьшены в размерах, что позволило использовать их в малогабаритных Mk-7. В НГ обеспечивалось ускорение ионов трития, которые производили нейтроны при столкновении с мишенью из дейтерида титана. К середине 1954 г. все источники «ТОМ» в боезапасе были заменены на внешние НГ. В это время вероятность отказа внешнего НГ составляла 0,58 %. Для ее уменьшения использовались новые компоненты и технологии сборки. Кроме того, в рядах использовались по два внешних НГ для надежного обеспечения иницирующего нейтронного импульса.

Ядерные заряды с внешними НГ были испытаны на Невадском полигоне в 1955 г. А 2 февраля 1955 г. был проведен опыт Moth с энерговыделением 2 кт, в котором проверялась работа малогабаритного заряда. 9 апреля 1955 г. в эксперименте Post с энерговыделением 2 кт проверялась работа заряда со схемой «линейной» имплозии. В 1955 г. в натурных испытаниях была проверена улучшенная схема внешних НГ Zipper. 1 марта 1955 г. этот НГ инициировал заряд со схемой «линейной» имплозии в опыте Tesla, а 12 марта 1955 г. – легкий заряд в опыте Hornet. В ноябре 1955 г. – январе 1956 г. НГ Zipper использовались в серии первых опытов США по боеприпасам Project 56; в каждом опыте применялось от 3 до 6 НГ.

В 1956 г. в результате работ Сандийской национальной лаборатории с тритидами уменьшились размеры НГ, а возможности их внедрения в боезапас возросли. К началу 1957 г. внешние НГ в некоторых видах ядерного оружия требовали частых проверок (с интервалами ~9 месяцев). Это было обременительно для армейских служб, особенно для ВМФ, так как корабли имели небольшие помещения для подобной специальной работы (длительностью до ~5 часов). ВМФ потребовал увеличить срок интервала проверочных работ до 12–18 месяцев. В 1957 г. три различных типа НГ Zipper были использованы в 18 ядерных испытаниях и в 5 экспериментах по

ядерно-взрывным боеприпасам. В опытах применялись специальные «лабораторные» устройства, которые требовали специального обращения для необходимых гарантий результатов. Как и все оружейные компоненты, внешние НГ становились все более компактными. Первые прототипы, созданные в 1952 г., были очень громоздкими (~60 см в диаметре и ~90 см в длину). В 1990-е гг. НГ США имели размер около 10 см в диаметре.

В заключение отметим, что в 1948 г. Я. Б. Зельдович и В. А. Цукерман выпустили отчет, в котором обосновали необходимость и возможность разработки внешнего импульсного нейтронного источника (ИНИ), а в 1951–1952 гг. теоретически была показана эффективность его использования для реальных конструкций зарядов. Разработка ИНИ началась в 1950 г., а в 1952 г. был создан лабораторный образец и проведены его детальные испытания. Производство опытной партии ИНИ было поручено КБ-25 (ВНИИА). В середине 1954 г. А. А. Бриш, Я. Б. Зельдович и В. А. Цукерман выпустили отчет «Атомная бомба с внешним нейтронным источником». 23 октября 1954 г. было проведено первое натурное испытание заряда с ИНИ, которое дало энерговыделение в 1,5 раза больше, чем прототип этого заряда. Работы по внедрению ИНИ в новые разработки стали интенсивно развиваться. В 1960 г. создание ИНИ было отмечено присуждением Ленинской премии.

При составлении данного материала авторы, в основном, опирались на информацию из книги Chuck Hansen. The Swords of Armageddon. 1995. Vol. 2.



Импульсная нейтронная трубка

АНДРЮШИН Игорь Алексеевич –
главный научный сотрудник ИТМФ
РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктор техн. наук,
лауреат Государственной премии
и премии Правительства РФ

ЧЕРНЫШЕВ Александр Константинович –
член-корреспондент РАН, зам. научного
руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ, начальник отдела
ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, лауреат Государственной
премии и премии Правительства РФ