

УДК 623.4.004.82

Комплексная утилизация устаревших боеприпасов с традиционным и химическим снаряжением по технологии «Форпост»

В. Н. Постнов

ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ ПОСТНОВ — кандидат технических наук, старший научный сотрудник по специальности «Боеприпасы», лауреат премии Совета Министров СССР, Генеральный директор Закрытого акционерного общества «Форпост-Конверсия», www.forpost.net. Область научных интересов: макрокинетика разложения гетерогенных взрывчатых материалов при ударно-волновом иницировании.

Тел. (095) 796-00-82, факс (095) 962-00-47, conversion@mail.ru

В настоящей работе рассматривается одно из многих направлений повышения обороноспособности нашей страны, касающееся рациональной ликвидации физически и морально устаревших образцов вооружения, военной техники и боеприпасов с целью последующего использования высвобождающихся при этом материальных ценностей.

Оценка состояния проблемы утилизации устаревшего вооружения

Оборонная промышленность Советского Союза создала образцы вооружения, не уступающие до настоящего времени по тактико-техническим характеристикам современным образцам вооружения развитых стран. Об объеме вооружения, произведенного в советское время, можно судить хотя бы по тому, что только за период 2001—2005 гг. по данным Министерства обороны, предоставленным в 2000 году при подготовке проекта Федеральной целевой программы утилизации вооружения, из средств военно-технического обеспечения Вооруженных Сил России выводится и подлежит переработке [1] более 80 тысяч ракет и комплектов наземного оборудования Ракетных войск стратегического назначения (РВСН), более 5 тысяч различных типов самолетов и вертолетов, около 8 тысяч образцов бронетанковой техники, около 13 тысяч систем артиллерийского вооружения, более 33 тысяч оптико-электронных приборов, более 1,2 миллиона единиц стрелкового оружия, более 100 миллионов артиллерийских выстрелов, более 40 тысяч боевых частей ракет различного назначения, более 20 тысяч авиабомб, более 65 тысяч неуправляемых авиационных ракет, около 10 тысяч торпед и более 8 тысяч морских мин¹.

Вопрос о ликвидации устаревшего вооружения актуален и для стран ближнего и дальнего зарубежья, куда в советское время были поставлены значительные объемы вооружения, гарантийный срок хранения которых к настоящему времени уже истек.

По минимальной оценке перечисленные выше и подлежащие переработке образцы вооружения совокупно содержат:

— не менее 2 млн. тонн черного металлолома, включающего не менее 18% легированной и высоколегированной стали,

— более 300 тыс. тонн цветного металлолома (в основном сплавы на основе Al, Ti и Cu),
— около 1400 тонн лома драгоценных металлов, в том числе около 15 тонн сплавов на основе Au, Pt и Pd,
— более 600 тыс. тонн взрывчатых веществ, артиллерийских порохов и твердых ракетных топлив.

Оценка дохода от реализации продуктов утилизации только представленного выше перечня военно-технических средств в расценках 2000 года составляет не менее 4 млрд. долл.

В России процесс утилизации боеприпасов с традиционным снаряжением был начат в 1992 году [2]. Что и сколько было «утилизировано» за прошедшие годы и сколько еще предстоит утилизировать после 2010 года — известно ограниченному списку военных и гражданских лиц. Как можно судить по результатам личной оценки ряда войсковых частей, Министерством обороны в Правительство РФ была представлена гарантированная треть реальных объемов подлежащих списанию военной техники, вооружения и боеприпасов. А поскольку в какой-то мере государственное регулирование этим процессом осуществлялось в России только в период с мая 1994 года² по осень 1996 года³, то становятся понятными масштабы «проутилизированного» к настоящему времени устаревшего вооружения. Приходится констатировать, что процесс утилизации морально и физически устаревших образцов вооружения сегодня осуществляется в Российской Федерации без должного государственного управления и регулирования.

Созданная при прямом попустительстве Правительства Российской Федерации правовая база в области утилизации устаревшего вооружения фактически легализует и постоянно пытается легализовать не только незаконные действия при выдаче лицензий или при получении выгодных оборонных заказов на утилизацию, но и прямое мародерство Вооруженных Сил Российской Федерации при самостоятельной «утилизации» элементов вооружения. Примеров этому

² Постановлением Правительства РФ [3] была одобрена Федеральная целевая программа комплексной утилизации вооружения и военной техники.

³ Из доклада Начальника 17-го Управления Аппарата Начальника вооружения России на межотраслевом совещании стало отчетливо ясно, что Федеральная целевая программа комплексной утилизации вооружения и военной техники, одобренная [3], фактически себя дискредитировала из-за несоответствия заложенной в нее концепции реалиям процесса утилизации.

¹ Без учета инженерных боеприпасов и боеприпасов иных силовых ведомств.

печальному факту множество. В частности, казалось бы, что стремление предприятий направить свои денежные средства на решение государственно значимых задач должно получать поддержку со стороны государства — напрямую экономятся бюджетные средства, а создание новых производств увеличивает налогооблагаемую базу. Однако «Руководством по утилизации ... МО РФ» от 01.11.99 не определены какие-либо правовые различия между исполнителями оборонных заказов, проводящими работы на бюджетные средства и на внебюджетной (кредитно-инвестиционной) основе. Более того, в условиях рыночных отношений для организаций, исполняющих гособоронзаказ на внебюджетной основе, сохраняется требование к нормированной рентабельности в размере не более 25%. И это в условиях, когда обслуживание кредитных средств требует не менее 36% годовых. Правовое беззаконие проявляется и в том, что государственный контракт подписывается Заказчиком (видом Вооруженных Сил), а согласно «Руководству ...» Министерством обороны, что лишает контракт правовой силы в случае третейского судебного разбирательства. С ведома Заказчика сложилась практика перепродажи контрактов на невыгодные работы третьим лицам. Со стороны Заказчика не стимулируются организации, способные к проведению комплексной утилизации вооружения и тем более утилизации опасных и особо опасных составляющих вооружения, военной техники и боеприпасов.

Порядок единого правового подхода к решению задачи утилизации не определен настолько, что можно утверждать о бесконтрольном разбазаривании военнотехнических средств, многими десятилетиями создаваемых для нужд обороны и безопасности страны. Порядок лицензирования работ по утилизации практически не учитывает безусловно включаемые виды деятельности при комплексной утилизации списываемого вооружения. Предприятия вынуждены первоначально вложить немалые собственные либо заемные деньги на создание производственного объекта по утилизации. При этом нет гарантии, что будет осуществлена поставка «сырья» — образцов вооружения для переработки на созданном объекте. Конечно же, такая организация работ не способствует решению государственных задач повышения безопасности и международного статуса России.

С 1999 по 2003 гг. в Правительство РФ были представлены четыре редакции проекта Федеральной программы по рассматриваемому вопросу. Как и первая программа, эти разработки по заказу Минобороны РФ выполнялись Всероссийским институтом межотраслевой информации (ВИМИ). В настоящее время модернизированные структуры государственного управления в очередной раз рассматривают вопрос о разработке Федеральной целевой программы «Промышленная утилизация вооружения и военной техники на 2004—2010 годы». Предполагается Исполнителем работ по созданию указанной Программы назначить снова ВИМИ, а в качестве концепции по-прежнему принять не столько технологию проведения утилизации в промышленных масштабах, сколько финансовую поддержку оборонных предприятий России (хотя бы частичную) на фоне решения проблемы утилизации. Да, надо восстанавливать предприятия оборонных отрас-

лей промышленности, но в первую очередь следует их организационно преобразовать и капитально модернизировать имеющееся там технологическое оборудование с целью создания современных и перспективных образцов вооружения, основанных на безлюдных технологиях. Безусловно, это важная задача, но это другая задача, требующая иных организующих действий. Поэтому результаты реализации задумок Минпромэнергетики представляются очевидными: или разработанная на таких основах Программа вновь не будет принята Правительством, или все-таки принятая она вновь вскоре себя дискредитирует.

Для более полного описания состояния проблемы утилизации устаревших образцов вооружения, военной техники и боеприпасов в России следует обратить внимание на финансовую сторону проблемы. Оборонная промышленность, созданная и успешно действовавшая по разработке, изготовлению и регламентному обслуживанию вооружения в войсках, в результате «революционных» изменений, произошедших в стране, лишилась былого финансового могущества. Ведь в недавнее «неправильное» время страна существовала под лозунгом «все на оборону, лишь бы не было войны». Это была могучая страна, а сегодня лицами от государства успешно выполняется работа по фактической ликвидации военно-промышленного комплекса России. Такое положение дел вынуждает и Министерство обороны и оборонные предприятия искать пути выживания, а, значит, заниматься не свойственной им деятельностью.

Оборонная промышленность создавалась для разработки новой техники и никогда не занималась ее утилизацией. А устранение изъянов в случае браковки военной приемкой изделий и переработка в промышленных масштабах изделий с истекшим сроком гарантийного хранения — это неравнозначные технологические процессы. Тем не менее, активно эксплуатируется порочный принцип — утилизацией могут заниматься те, кто создавал либо хранил вооружение. А как иначе сегодня найти заказы для «оборонки», если нет прямых заказов, соответствующих предназначению оборонных предприятий? Поэтому государство законодательно вроде бы допускает предприятия всех форм собственности к работам по утилизации вооружения. Однако заинтересованное чиновничество «как-то незаметно» резко ограничило круг допущенных предприятий.

Все выше представленное и сегодня происходящее можно было бы избежать, если бы в стране был налажен процесс рациональной и комплексной утилизации вооружения в промышленных масштабах. Тогда мы не имели бы в таком масштабе локальных военных действий на территории России, а у «борцов за свободу Чечни» не было бы запаса средств вооружения, боеприпасов и взрывчатки. Ведь утилизация образцов вооружения позволила бы не только высвободить для нужд государства немалые финансовые ресурсы, но и освободить немалые силы и средства Вооруженных Сил, использующиеся сейчас на охрану устаревшего вооружения.

Существующие подходы к утилизации устаревшего вооружения

Важнейшей задачей в деле комплексной переработки устаревшего вооружения является прежде всего высвобождение взрывчатых и иных высокоэнергетиче-

ских материалов из корпуса изделий. Утилизация танка либо бронетранспортера, наконец, самолета или ракеты требует осмысленного технологического подхода. Конечно, можно вытащить, например, из корпуса ракеты трансформаторы или другие элементы, содержащие медь, драгоценные металлы и иные дорогостоящие составляющие. А как расценить факты разукрупнения подводной лодки или боевого корабля, ракетного комплекса или артиллерийского выстрела унитарного заряжания, передаваемых на комплексную утилизацию в рамках исполнения государственного оборонного заказа? Приведем такой факт. На строго охраняемых территориях военных баз стоят внешне новые военные автомобили без двигателей или с деформированной силовой рамой и т.п. Назвать это мародерством нельзя, поскольку растаскиваются материальные ценности своего государства (а не населения). Но и не может служить оправданием происходящего то, что у военных отсутствуют технологические решения по рациональной и комплексной утилизации устаревших образцов вооружения, военной техники и боеприпасов, которые должна бы дать промышленность. И процесс утилизации устаревшего вооружения продолжается в стране по «технологии», мало отличающейся от мародерства.

Боеприпасы как наиболее сложная и опасная составляющая вооружения в лучшем случае накапливаются на складах или же бездарно уничтожаются. Главное ракетно-артиллерийское управление Министерства обороны (ГРАУ МО РФ) официально выставляет на тендеры по утилизации снаряды от артиллерийских выстрелов унитарного заряжания калибров от 57 до 120 мм. Это означает, что кем-то успешно проведена работа по механической разборке и отделению латунных гильз от снаряда. Находившиеся в гильзах пороховые метательные заряды уничтожаются, а вывинченные капсульные втулки и собственно артиллерийские снаряды поставляются на утилизацию. Правда, на тендере выставляются и выстрелы тех же калибров, но со стальными гильзами. В [4] отмечается, что разделка артиллерийских выстрелов с латунными гильзами выполнена к 2000 году на 130%, а комплексная (полная) утилизация (переработка) артвыстрелов всего на 25%. Далее, только на одном из арсеналов ГРАУ без ущерба для боеготовности войск могут быть утилизированы порядка 500 тыс. артиллерийских выстрелов, что при стоимости лома гильзовой латуни в размере 700 долл. за тонну и при массе латунной гильзы в среднем 5 кг может дать доход не ниже 1,75 млн. долл. Однако в войсках нет высокопроизводительного оборудования, обеспечивающего переработку артснарядов, снаряженных тротилом, в больших масштабах. Дело в том, что устройства по выплавлению тротила из корпусов артснарядов, разработанные Красноармейским институтом механизации (головное предприятие по разработке технологий утилизации боеприпасов) на принципах раснаряжения забракованных военной приемкой новых произведенных изделий, не обеспечивают необходимой производительности для утилизации устаревших боеприпасов. Что касается переработки снарядов, снаряженных взрывчатыми составами на основе гексогена, то этот вопрос вообще не решен. Кроме того, в войсках нет укупорки (ящиков) для снарядов от выстрелов унитарного заря-

жания (такая укупорка промышленностью просто никогда не изготавливалась). Поэтому в нарушение норм и правил хранения на территориях войсковых частей накапливаются боеприпасы, размещенные в самодельных ящиках, что, естественно, приводит к катастрофическим последствиям.

Проблемы в области утилизации вооружения и особенно боеприпасов зашли настолько далеко, что в Управлении Начальника вооружения МО РФ достаточно серьезно рассматриваются возможности создания новых образцов вооружения и даже боеприпасов двойного назначения. В конструкцию перспективных образцов изделий предложено закладывать технические решения, обеспечивающие не только их выполнение целого ряда боевых задач, но и удобную их утилизацию. Но вряд ли такое решение целесообразно.

Основная технологическая проблема переработки боеприпасов с истекшими сроками гарантийного хранения вызвана неопределенностью изменения свойств высокоэнергетических материалов, к которым относят пороха, ракетные топлива, пиротехнические и взрывчатые составы. Любой образец вооружения, если отделить ракетный двигатель, боевую часть, боевое зарядное отделение, пороховой метательный заряд, трассер, взрыватель и пр., превращается просто в «железку», которую каждый готов распилить, разобрать на запчасти и продать в качестве металлолома. Задача утилизации именно боеприпасов настолько сложная, что предприятия оборонного комплекса подменяют процесс утилизации боеприпасов на процесс их переснаряжения и переаттестации, что составляет лишь суть процесса регламентного обслуживания боеприпасов. Считается, что это не только допустимо, но и целесообразно. Переснаряжение и переаттестация изделий выполняется предприятиями-производителями данного вида оборонной продукции в рамках государственного оборонного заказа по войсковой эксплуатации вооружения.

Подобная практика имеет серьезную финансовую подоплеку. Изделия с вышедшим гарантийным сроком хранения передаются предприятию на утилизацию практически без оплаты. Предприятие на имеющемся оборудовании восстанавливает устаревшее изделие и как новое, с новым гарантийным сроком хранения продает его, например, иному государству, куда Советским Союзом были поставлены в свое время соответствующие образцы вооружения.

Накопление боеприпасов, корпуса которых имеют устаревшие тактико-технические характеристики, пусть даже со свежим боевым снаряжением, подтверждает полное бессилие заказывающих их Управлений МО РФ как в вопросах обеспечения Вооруженных Сил России современным и могучим вооружением, так и в вопросах организации и проведения работ по комплексной и рациональной утилизации устаревших образцов вооружения.

Таким образом, приходится констатировать, что деятельность государственного аппарата в отношении сокращения излишков боеприпасов и вообще по организации и проведению рациональной комплексной утилизации морально и физически устаревающего вооружения в промышленных масштабах до настоящего времени фактически не вышла из стадии глубокого поиска, при этом объемы самих вооруже-

ний в России активно сокращаются. Развернутые еще в советское время по инициативе ГРАУ МО РФ исследования по созданию технологических решений процесса утилизации устаревающего вооружения и боеприпасов не завершились разработкой не только технологических комплексов, но и даже обоснованной концепции утилизации. В связи с этим нельзя не отметить, что в США порядок утилизации вооружения был определен непосредственно после завершения Второй мировой войны Директивой № 4160.21-М, обязательной для исполнения всеми органами Министерства обороны США.

Революционные изменения начала 1990-х годов поставили всех военно-технических специалистов практически перед выбором пути дальнейшего существования в России. В этих условиях, когда не приходилось рассчитывать на бюджетные ассигнования, в 1991 году было организовано в рамках коммерческой структуры малое государственное предприятие «Форпост» [5]. Одно из направлений деятельности предприятия — разработка рентабельной и экологически безопасной технологии утилизации такого сырья, как боеприпасы. После 1995 года оно было преобразовано в закрытое акционерное общество «Форпост-Конверсия», которое занимается экспериментально-полигонной отработкой технологических решений по утилизации боеприпасов на созданном также на внебюджетной основе опытно-промышленном производственном объекте — Центре утилизации боеприпасов [6, 7]. К сожалению, в начале 2000 года этот Центр был закрыт из-за разорительных неоднократных сбоев в своевременной поставке боеприпасов на утилизацию.

Технология «Форпост» по переработке устаревших военно-технических изделий

Утилизация боеприпасов традиционного снаряжения

Совокупность технологических разработок, которая впоследствии получила наименование «Технология «Форпост», создавалась для решения прежде всего проблемы утилизации боеприпасов традиционного снаряжения [5, 8, 9]. В основу разработок были положены решения тех вопросов, с которыми реально сталкиваются военные: отсутствие специализированных производственных площадок для переработки (а не уничтожения) боеприпасов, отсутствие технологического оборудования и обученного персонала для проведения работ, а также наличие значительного многообразия видов и типов «сырья» — подлежащие утилизации боеприпасы. Так, перечень изделий, содержащих взрывчатые материалы, включает, например по линии инженерных войск, более 400 наименований.

Предприятиям, выполняющим оборонный заказ, обычно выдвигаются требования по созданию поточных автоматизированных, а точнее, роботизированных линий для переработки практически каждого вида и типа боеприпаса. Создание таких линий требует не только значительных материальных средств, времени и привлечения большого числа смежных предприятий, но и связано с непредсказуемостью успешного завершения работ. Ведь предстоит перерабатывать изделия, которые, с одной стороны, конструктивно исполнялись для одноразового применения, а с другой стороны, изделия находились на хранении не один год, и история их хранения зачастую неизвестна.

С учетом этого обстоятельства по технологии «Форпост» все виды, типы и калибры изделий, подлежащих утилизации, подразделяются на три группы, и переработка образцов вооружения, военной техники и боеприпасов каждой группы производится по единому технологическому циклу [1, 5, 7, 10—17].

Одну группу составляют условно названные нами крупногабаритные боеприпасы. Это авиационные бомбы калибров от 100 кг и более, боевые зарядные отделения торпед, морские (речные) и крупные инженерные мины, боевые части ракет, для которых масса боевого снаряжения на основе гексогена, октогена и других высокочувствительных составов не менее 1 кг, артиллерийские снаряды калибра от 152 мм и более, ракетные двигатели на баллистических порохах и др. Эти изделия перерабатываются путем безопасного взрывного резания корпусов боеприпасов, в том числе и с неизвлекаемыми элементами детонационных цепей (дополнительные детонаторы) с последующей переработкой высвобождаемого боевого взрывчатого снаряжения в промышленные взрывчатые материалы. Корпуса боеприпасов идут в металлолом.

К другой группе относятся малогабаритные боеприпасы. Это снаряды от артиллерийских выстрелов калибра не более 152 мм, противопехотные и противотанковые мины, боевые части ручных противотанковых гранатометов, ручные и противотанковые гранаты и другие боеприпасы с массой снаряжения на основе гексогена, октогена и тротила не более 10 кг. Данные изделия без предварительной разборки на составляющие (условно — в укупорке) уничтожаются подрывом в водной среде в специализированном бассейне с получением черного и цветного металлолома в виде осколков корпусов, сепарированных по сортаменту металла.

Приведем пример возможности утилизации подобных боеприпасов.

Во времена войны во Вьетнаме в нашей стране были проведены работы по созданию противопехотной мины, подобной той, что американцы использовали для борьбы с вьетнамскими солдатами. Это фугасная мина с жидким взрывчатым веществом, масса которого достаточна для поражения босой ноги (действие мины было рассчитано на то, что у вьетнамских солдат отсутствовала армейская обувь; для ноги, обутой в стандартный армейский ботинок, мина опасности не представляла). Корпус мины выполнен из эластичной пластмассы. При сжатии цилиндрического баллончика с жидким взрывчатым веществом под действием наступившей на него ноги человека давление на взрывчатое вещество повышается, оно продавливается через калиброванную фильеру и разрывает мембрану миниатюрного взрывателя. Мина рассчитывалась на применение в джунглях при температуре не ниже 20 °С.

Ясно, что изменение вязкости изменяет условия протекания жидкости через фильеру и, соответственно, условия срабатывания взрывателя. Подобрать жидкие взрывчатые компоненты, вязкость которых не сильно изменяется в интервале температур от +20 °С до +40 °С, а также эластичные пластмассы, гибкость которых также не сильно изменяется в указанных условиях, не составляет большого труда. Поскольку в Советском Союзе производились образцы вооружения, как правило, сохраняющие работоспособность в

широком интервале температур (от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$), то для создания мины ПФМ-1 — аналога американской противопехотной мины советским специалистам потребовалось разработать и запустить в промышленное производство жидкий взрывчатый состав ВС-6Д с мало меняющейся вязкостью в указанном температурном интервале. Кроме того, был отлажен процесс изготовления корпусов для таких мин из пластмассы, полимеризуемой в условиях жесткого ионизирующего излучения, что обеспечивало ее эластичность в указанном интервале температур. Это боеприпасы массового применения, оборудованные вышибным устройством, которые в окснарвиде⁴ собираются в контейнеры КСФ-1.

В итоге мина была создана, правда, не как полный аналог американской мины. Контейнеры КСФ-1 сбрасываются с вертолетов (или доставляются другими системами дистанционного минирования) над территорией, занятой противником, скрывая его перемещение. Однако представляется маловероятной возможность ведения боевых действий с босоногим противником в условиях температур как ниже $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, так и выше $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому масса боевого снаряжения мин ПФМ-1 выбиралась из условия поражения ноги, обутой в зимний сапог. В результате получилось, что неважно — наступит ли на мину нога противника или нога советского солдата — в любом случае полностью теряется селективность, заложенная в американском аналоге.

В настоящее время контейнерами КСФ-1 с минами ПФМ-1 (ПФМ-1С) забиты арсеналы и базы хранения инженерных войск и ВВС, несколько меньшие объемы есть в ВМФ. Это, может быть, было бы не так уж и плохо, если бы со временем созданное советскими специалистами хлороорганическое жидкое взрывчатое вещество, обладающее к тому же далеко не слабым отравляющим действием, не начало вытекать из контейнеров КСФ-1. Поскольку продуктами детонации данного вещества, помимо CO , CO_2 , NO , CH_4 , HCN , являются HCl , хлорид свинца и другие соединения хлора, то уничтожение таких боеприпасов установленным порядком (путем подрыва на полигоне) недопустимо. Введение в полость контейнеров КСФ-1 цементирующих составов для предотвращения несанкционированного срабатывания вышибного устройства и минирования окружающей территории переводит изделие из категории боеприпаса в категорию взрывоопасного изделия.

Предлагаемое в [18] применение таких изделий в горнорудной промышленности в качестве скважинных зарядов в карьерных разработках и в шахтных забоях представляется проблематичным по экологическим соображениям [19]. Даже в случае бесплатной передачи этих взрывчатых зарядов на горнорудные предприятия не окупятся затраты на выветривание образующихся продуктов детонации не только из шахтных забоев, но и из открытых карьеров. Утилизация боеприпасов типа ПФМ-1, снаряженных хлороорганическим взрывчатым веществом, может быть осуществле-

на по технологии «Форпост». Для этого боеприпасы подрываются в жидкой среде, представляющей собой, например, водный раствор дегазирующего состава, что обеспечивает экологическую безопасность утилизации или, точнее, ликвидации изделия.

В случае подрыва по технологии «Форпост» боеприпасов, снаряженных наиболее мощными взрывчатыми веществами состава $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d$, из неокислительной водной среды бассейна извлекается конденсированная фаза продуктов детонации. Применяемые для снаряжения боеприпасов взрывчатые вещества всегда имеют отрицательный кислородный баланс, поэтому конденсированная фаза продуктов детонации состоит в основном из углерода. А так как давление и температура детонационной волны, распространяющейся по заряду конденсированного взрывчатого вещества, достаточно высокие и лежат в области термодинамической стабильности алмаза, то конденсированная фаза продуктов детонации представляет собой смесь частиц графита и алмазов [20–23]. Эту смесь называют алмазной шихтой. Время, в течение которого из атомарного углерода за фронтом детонационной волны формируются частицы графита и алмаза, а также фуллерены (C_{60} , C_{90} и другие), имеет порядок 10^{-6} секунды. Размеры образующихся первичных частиц алмаза не превышают 4–6 нм, поэтому эти частицы называются ультрадисперсными алмазами, или наноалмазами. В дальнейшем из них формируются фрактальные кластерные структуры размером порядка 30–40 нм, которые, в свою очередь, агрегируются в более крупные структуры с характерными размерами в несколько сотен нанометров [24].

Алмазная шихта, ультрадисперсные алмазы и фуллерены, относящиеся к классу наноматериалов, представляют немалый интерес для многих областей промышленности [24–26]: авто-, авиа-, судо-, тракторо- и двигателестроения, металлообрабатывающей, инструментальной и абразивной промышленности, радио-, электротехнической и электронной промышленности, оптической, часовой и ювелирной промышленности, химической и нефтехимической промышленности, а также для медицины.

Таким образом, технология «Форпост» позволяет из малогабаритных боеприпасов, которые, согласно действующему порядку, до настоящего времени просто уничтожаются, получать технически чрезвычайно ценные перспективные материалы [5, 27] (технология защищена патентом РФ № 2087844 от 20.08.97). Показано, что суточная производительность одной технологической установки — водного бассейна диаметром 4 м и глубиной ~6 м составляет более 5,5 кг алмазной шихты. В бассейне указанных размеров за рабочую смену с периодичностью до минуты осуществляется подрыв более 450 боеприпасов с массой взрывчатого снаряжения до 150 г. Выход алмазной шихты по данной технологии составляет не менее 7,5% от массы прореагировавшего взрывчатого вещества, что почти в два раза превышает выход шихты при сухом подрыве в бронкамере, т.е. при безосколочном подрыве в бескислородной атмосфере. В шихте содержится не менее 50% ультрадисперсных алмазов и около 0,2% фуллеренов.

В качестве корпуса вышеназванного бассейна может служить, например, одна из половинок старой

⁴ Профессиональный термин, образованный из слов ОКОНЧАТЕЛЬНО СНАРЯЖЕННЫЙ ВИД и обозначающий состояние боеприпаса полностью подготовленного к боевому применению, поскольку в нем установлено взрывательное устройство (взрыватель) и другие элементы детонационной цепи.

железнодорожной цистерны, заглубленной в грунт, а другая половина послужит основой для другого бассейна. Понятно, что стоимость такого технологического оборудования на несколько порядков ниже стоимости бронекмеры, срок службы которой к тому же при осколочных подрывах резко ограничен. В нашем случае водная среда служит как для защиты стенок бассейна от осколков уничтожаемых боеприпасов, так и для интенсивного охлаждения продуктов детонации боевого взрывчатого снаряжения. Металлический корпус бассейна в большей степени предотвращает перемешивание поверхностных грунтовых вод с жидкой средой бассейна. Из-за различия в акустической жесткости⁵ элементы корпусов боеприпасов, выполненные из различных материалов, под действием ударно-волнового нагружения при взрыве механически разделяются и оседают на дно бассейна на металлическую сетку. Сетка, наполненная осколками, периодически поднимается вверх, далее осколки поступают в сепаратор, где сортируются на стальной, медный и алюминиевый лом для последующей реализации.

Наконец, по нашей «технологической» классификации изделий все виды и типы ракет, торпед, артиллерийских выстрелов и других образцов вооружения в сборе мы относим к группе сложных, или составных боеприпасов. Это изделия, содержащие взрывопожароопасные составляющие, подлежат разборке по штатной технологии регламентного обслуживания.

При проведении работ по ликвидации таких изделий на созданных нами на территориях ряда войсковых частей производственных участках изделия подвергались пробной разборке в режиме разминирования. В процессе пробной разборки отработывался наиболее рациональный порядок ее проведения с применением комплекса методов, включающих механическую, огнерезную, плазменную и взрывную технологии металлоразделки. При этом приходилось проводить работы по дегазации несливаемых остатков жидкого ракетного топлива, резку корпусов сосудов высокого давления, механическую разборку изделий с элементами пироматериала и другие операции. Состояние и комплектация изделий определялись по факту. Зачастую составляющие такого рода изделий, заложенных на длительное хранение, содержатся в отдельных хранилищах. Для перевода изделий в боевое состояние на арсеналах и базах хранения проводится их комплектация и сборка. В рамках оборонного государственного контракта образцы вооружения передавались на утилизацию как в сборе, так и по частям: крылья от ракет, корпуса ракет, транспортно-заряжающие машины, боевые части, стартовые пороховые ускорители, антенно-фидерное хозяйство, кабины наведения и т.д. Как уже отмечалось, каждая из этих позиций существенно отличается по составу входящих в нее материалов, механизмов и узлов, а это давало огромный простор для «маневров» заказывающего Управления вида или рода Вооруженных Сил России за счет передачи наиболее дорогостоящих частей «своим» предприятиям.

Технология «Форпост» обеспечивает полную комплексную переработку как неопасных, так и взрыво-

пожароопасных составляющих боеприпасов — ракеты в сборе, торпеды и др.

Экологические аспекты применения технологии

Объединение наших разработок с научно-техническими достижениями Химического факультета МГУ им. Ломоносова позволило расширить сферу применения технологии «Форпост» в область восстановления территорий позиционных районов РВСН, баз хранения и подготовки ракетных систем ПВО и ВМФ в случае загрязнения почв, водоемов, железобетонных сооружений и металлоконструкций следовыми количествами гептила и амила путем озоновой детоксикации [11]. Специалистами «Научного центра им. Келдыша» отработан процесс ликвидации смешанных твердых ракетных топлив на основе перхлората аммония путем мелкодисперсной его деструкции [11].

Таким образом, новые разработки замкнули перечень проблем ликвидации сверхнормативных запасов морально и физически устаревших образцов вооружения, военной техники и боеприпасов традиционного снаряжения.

Утилизация химических боеприпасов

Технология «Форпост» может быть использована при разделке на металлолом емкостей, в которых находились на длительном хранении боевые отравляющие вещества, а также для вскрытия химических боеприпасов с установленными разрывными зарядами и другими элементами детонационной цепи с целью удаления и последующей дегазации отравляющего вещества [28, 29]. Согласно проведенным нами оценкам, возможно применение методики взрывного резания емкостей с полимеризованными (осмоленными) остатками отравляющих веществ даже в случае наличия в газовой атмосфере внутри емкостей стехиометрической смеси ацетилена с воздухом. Такая возможность обусловлена тем, что за время, в течение которого осуществляется взрывное резание тонкостенного (толщина до 12 мм) корпуса емкости с осмоленными остатками, соизмеримо с индукционным периодом адиабатического взрыва смеси ацетилена и воздуха. По этой причине возгорание (взрыв) газовой смеси фактически происходит не в ограниченном пространстве внутри разрезаемой емкости, а как бы в открытой атмосфере. Разрушающее действие в этом случае несоизмеримо меньше, чем при взрыве газовой смеси в замкнутом пространстве.

Для ликвидации химических боеприпасов, как в оксидной, так и аварийных⁶, вполне пригодна методика их подрыва в жидкой среде бассейна, которая была апробирована при утилизации малогабаритных боеприпасов. Химические артиллерийские боеприпасы имеют разрывные заряды существенно меньшей массы, чем аналогичные по калибру фугасные и осколочно-фугасные снаряды. И если утилизация по технологии «Форпост» артиллерийских боеприпасов в водном бассейне ограничивается боеприпасами калибром 152 мм (масса боевого заряда фугасной гранаты не

⁵ Производство начальной плотности материала на скорость звука в нем.

⁶ К аварийным относятся химические боеприпасы с выявленной течью боевого отравляющего вещества как в результате неосторожного служебного обращения с ними (перегрузка, транспортировка и т.п.), так и в результате проявления дефектов металла корпуса боеприпаса или нарушения технологии сборки изделия на производстве.

превышает 8 кг), то по отношению к химическим боеприпасам такого ограничения нет. Только при ликвидации химических боеприпасов в качестве жидкой среды используются соответствующие для каждого типа отравляющих веществ либо водные дегазирующие растворы, либо дегазирующие растворы на основе горючих растворителей, заливаемых в бассейн на поверхность высокоплотного (ρ_0 от 1640 до 1980 кг/м³) перфторуглерода (перфторметилдекалин, перфтордиметилциклогексан, перфторгексан и др.). В последнем случае собственно детонационное уничтожение боеприпаса как конструкции посредством воздействия накладного заряда осуществляется в среде перфторуглерода. Выделяющиеся при этом газообразные продукты детонации способствуют переносу высвобождаемых отравляющих веществ в дегазирующий раствор. По мере отработки дегазирующей жидкости она заменяется на свежую.

Безусловно, непосредственное применение технологии «Форпост» для целей ликвидации химического оружия требует некоторой ее доработки. В частности, следует учесть установленный порядок работы с химическими боеприпасами.

Математическое моделирование процессов взрывной технологии «Форпост»

С целью выявления и обоснования возможности применения технологии «Форпост» был использован метод математического моделирования для решения задач в области физики взрыва и высокоскоростного удара. Метод был реализован в виде машинно-программного комплекса «Сtereo-Форпост» [10]. В основу комплекса положены разработки по созданию численного метода интегрирования гиперболической системы дифференциальных уравнений механики сплошной среды и машинно-ориентированных вычислительных комплексов с использованием интерактивных графических систем для визуализации результатов вычислений (Институт прикладной физики Министерства машиностроения СССР) [30, 31]. Эти разработки были перенесены на персональные ЭВМ существующего поколения. Кроме того, для расчетов процессов ударно-волнового воздействия (инициирования) на гетерогенные взрывчатые составы гиперболическая система дифференциальных уравнений дополнялась уравнением состояния химически реагирующей среды (взрывчатое вещество), кинетика разложения которой за фронтом инициирующей ударной волны в основном представлена в [32—35].

Методом численного расчета находились предельные условия инициирования конкретного заряда взрывчатого вещества, установленного в конкретном изделии, при нагружении его в заданном диапазоне внешнего инициирующего воздействия, которые определяют как нормальную работу этого изделия, так и способность внешнего воздействия обеспечивать гарантированное инициирование детонации или гарантированное отсутствие взрыва заряда в этом изделии. Расчет предельных условий инициирования с использованием кинетических параметров разложения вещества по [32] позволяет определять условия рационального использования потенциальной энергии химических связей молекулы взрывчатого вещества.

Кинетика разложения взрывчатого вещества базировалась на основе представления гетерогенного взрывчатого состава как совокупности разнородных по форме и размерам частиц [32]. При ударно-волновом нагружении как деформация самих этих частиц, так и их взаимодействие между собой приводят к образованию по различным физическим причинам локальных очагов разогрева взрывчатого вещества. Если параметры образующихся очагов разогрева превышают предельные значения для данного вещества, то через некоторое время (время индукции адиабатического взрыва по Аррениусу) вся масса взрывчатого вещества в этом очаге превратится в газообразные продукты взрыва (горения). Горение вокруг не затухших в результате изменения состояния реагирующей среды очагов продолжается, увеличивая радиус сферы горения. Физические причины, доминирующие в образовании локальных очагов разогрева, зависят от исходной микроструктуры взрывчатого вещества.

Кинетика инициирования детонации, рассчитанная в зависимости от исходной микроструктуры взрывчатого вещества и конкретных условий нагружения частиц гетерогенной среды [32], позволяет рассчитать динамику превращения ударно-сжатой конденсированной среды в газообразные продукты детонации и соответственно рассчитать динамику перехода инициирующей ударной волны в детонационную, либо затухание инициирующей ударной волны в звуковую и ее перерождение в волну сжатия. Посредством этих расчетов для условий, реализующихся при различных воздействиях на изделия, содержащие заряды взрывчатых веществ, производится оценка результата таких воздействий. Например, для выбора технологического заряда взрывного резания корпуса крупногабаритного боеприпаса выполняется серия расчетов воздействия того или иного типа технологического заряда на корпус боеприпаса. По результатам расчетов определяются те заряды взрывного резания и те условия их применения, при которых, с одной стороны, обеспечивается надежное разрушение оболочки боеприпаса, а с другой — оказывается минимальное воздействие на боевое снаряжение боеприпаса, гарантированно не инициирующее его детонации.

Далее требуется провести натурные либо лабораторные испытания для конкретизации выбранных решений. Это связано тем, что за время хранения в основном изменяется именно микроструктура боевого снаряжения боеприпаса. Что касается изменений химического состава взрывчатых веществ, то по данным жидкостной хроматографии установлено, что образцы, синтезированные в послевоенные годы, имеют более стабильный состав, чем вещества, синтезированные в наше время.

В заключение заметим, что применение представленного метода математического моделирования для выбора технологических параметров взрывной утилизации по технологии «Форпост» обеспечивает не только значительное снижение финансовых затрат на отработку режимов утилизации по этой технологии, но и раскрывает принципиальную возможность применения технологии для утилизации военно-технических средств практически в пределах всей номенклатуры вооружения, военной техники и боеприпасов традиционного и химического снаряжения [33—39].

О перспективе реализации технологии «Форпост»

О жизнеспособности технологии «Форпост» свидетельствуют разного рода работы по ее реализации. Это выполнение 39-ти государственных оборонных контрактов, создание на территориях ряда войсковых частей временных производственных участков для утилизации образцов вооружения номенклатуры РВСН, ВВС, ПВО и ВМФ, создание на территории полигона одной из войсковых частей Центра утилизации боеприпасов, его государственная аттестация (территории, персонала, технологического оборудования), включая государственную сертификацию производимых из высвобождаемого боевого взрывчатого снаряжения зарядов-детонаторов типа ТГУ-1000К по техническим условиям нашего предприятия (ТУ 7288-001-41986599).

Технология «Форпост» неоднократно демонстрировалась на полигонах военным и отраслевым специалистам, представлялась на заседаниях научно-технических семинаров отраслевых оборонных институтов, обсуждалась на конференциях и на иных научных форумах. Наиболее полный объем информации о технологии «Форпост» представлен в сети Интернет на сайте www.forpost.net.

Все это дает основание рекомендовать технологию «Форпост» для развертывания работ по рациональной и комплексной утилизации всего спектра образцов вооружения, военной техники и боеприпасов традиционного и химического снаряжения в промышленных масштабах как на территории России, так и за ее рубежами. Надо сказать, что с такими предложениями наше предприятие неоднократно обращалось в управляющие структуры оборонной промышленности и в структуры Минобороны.

Наши инициативные предложения, разработанные в виде программы «Строительство и эксплуатация на условиях внебюджетного финансирования Центров комплексной, экологически безопасной, рентабельной утилизации военно-технических средств и боеприпасов традиционного снаряжения на территориях, подведомственных Вооруженным Силам России, с последующей передачей созданных Центров в ведение Вооруженных Сил», были представлены в Правительство Российской Федерации. В условиях непрекращающегося совершенствования правовой базы нам пришлось снова разработать «Программу комплексной утилизации образцов вооружения, военной техники и боеприпасов традиционного снаряжения по технологии «Форпост», которая к февралю 2003 года была согласована со всеми структурами Вооруженных Сил России. Попытки Правительства РФ обязать Министерство обороны и руководство оборонных отраслей разработать федеральную программу по утилизации устаревших вооружения, военной техники и боеприпасов дало нам основание для создания собственной концепции относительно решения указанной проблемы путем организации новой отрасли оборонной промышленности [1]. Эта концепция в виде план-проспекта Федеральной целевой программы «Промышленная утилизация вооружения и военной техники (2004–2010 годы)» была представлена в марте 2003 года в аппарат Правительства РФ и в аппарат Начальника Вооружения МО РФ. Нами предлагается от бессистемного проведения работ перейти к организации работ в рамках новой специализирован-

ной отрасли, для чего требуется строительство на территории России ряда производственных объектов на базе технологии «Форпост» [14, 16].

Для высвобождения по технологии «Форпост» материальных ценностей, сосредоточенных в морально и физически устаревших образцах вооружения, военной техники и боеприпасов, выводимых из состава Вооруженных Сил, достаточно создать ряд региональных Центров комплексной утилизации [29]. Время на создание одного такого Центра на уровне полугодия может быть распределено так: проектирование — 4 месяца, изготовление и монтаж оборудования — 2–4 месяца, подбор и обучение персонала — 3 месяца, землеустроительные работы — 2 месяца, пуско-наладочные работы — 1 месяц. Все эти работы ведутся, в основном, параллельно. По нашим оценкам затраты на создание одного Центра в зависимости от местных условий лежат в пределах 450–750 тыс. долл. Эксплуатационные затраты составляют 35–45 тыс. долл. ежемесячно. Время переработки заявленных образцов вооружения — до 5 лет. Для привлечения внебюджетных инвестиций должны действовать правовые гарантии государства, в частности, по предоставлению территорий для создания Центров на согласованный срок выполнения работ по утилизации, по своевременным и полновесным поставкам сырья на утилизацию, по сохранению условий реализации продуктов утилизации на весь согласованный период выполнения работ (хотя бы на 5–7 лет).

Рекомендуя технологию «Форпост» в качестве основы для создания объектов по утилизации устаревшего вооружения, отметим еще одно немаловажное ее качество: технологическое оборудование легко транспортируется и может быть развернуто в течение месяца на подготовленных для этих целей территориях, вблизи которых дислоцируются арсеналы и базы хранения военно-технических средств для оснащения всех видов и родов Вооруженных Сил. Подготовка территории (создание при необходимости охраняемого периметра, защитных обваловок, укрытий для производственного персонала, инженерных сетей по электропитанию, связи и систем охранной сигнализации и пр.) занимает до полугодия. Модельные расчеты характеристик Центра утилизации авиационных боеприпасов традиционного снаряжения (авиабомбы калибра от 100 до 3000 кг, управляемые и неуправляемые ракеты и др.) показывают, что при производительности объекта по взрывчатому веществу 8,0 тонн в сутки годовая прибыль может достигать 400 тыс. долл.

Наши предложения по решению проблемы утилизации, прежде всего, боеприпасов традиционного снаряжения как наиболее сложной и опасной составляющей вооружения, были представлены также Министерству обороны Украины, Белоруссии и Казахстана. Предложения и оценочные расчеты возможности получения не менее 17 млн. долл. от переработки только боеприпасов, сосредоточенных в Приднестровье на территории дислокации 14-й Армии, были представлены в ОБСЕ.

Итак, технология «Форпост» по рациональной и комплексной переработке образцов вооружения, военной техники и боеприпасов с традиционным и химическим снаряжением может служить технологической и организационной основой для создания в России новой специализированной оборонной отрасли

промышленности. А для этого прежде всего требуется готовность государства как системы реализации общенациональных интересов и наличие политической воли у лиц, осуществляющих сегодня управление государством.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Постнов В.Н., Рузаев В.А.* Вестник авиации и космонавтики, 2003, № 2, с. 36—39.
2. Постановление Правительства Российской Федерации Об утилизации обычных видов боеприпасов № 473 от 05.07.92.
3. Постановление Правительства Российской Федерации Об утверждении Федеральной программы промышленной утилизации вооружения и военной техники на период до 2000 года № 548 от 25.05.94.
4. *Четвертаков Г.В.* Мат. IV Межд. научн.-техн. конф «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов», М., «Вооружение. Политика. Конверсия», 2001, с. 8—11.
5. *Kalashnikov V.V., Postnov V.N., Roumantsev V.V.* PRIO Report «Conversion and the Environment», Proc. of seminar in Perm. Russia, 24—27 November, 1991, p. 269—277.
6. *Белоусова Т.М.* «Совершенно секретно», 2001, № 7(146), с. 12—13.
7. *Глуцак Б.П., Докутович И.Б., Жиркевич В.Ю., Постнов В.Н.* В сб.: Межд. конф. «Взрывное дело-99», М., МГУ, 1999, с. 107—113.
8. *Постнов В.Н.* В межотраслевом научно-техн. сб. «Вопросы экономики и конверсии». Спец. вып., М., 1992, с. 119—121.
9. *Постнов В.Н.* См. ссылку [8], 1993, с. 60—61.
10. *Жиркевич В.Ю., Постнов Вяч.Н., Постнов Вл.Н.* Химия и жизнь, 1996, № 4—6, с. 56—61.
11. *Постнов В.Н., Глуцак Б.П., Матвеев В.Н., Трусов Ю.Д., Емельянова Г.И., Лукин В.В., Крюков Б.П., Долматов В.Ю.* Двойные технологии. М., ИА, 2002, № 1(18), с. 35—48, (www.sipria.ru/pdf/dt2218.txt).
12. *Глуцак Б.П., Жиркевич В.Ю., Постнов В.Н.* Там же, 1998, № 1, с. 36—50.
13. *Глуцак Б.П., Постнов В.Н., Рузаев В.А.* Мат. IV-й межд. научно-техн. конф. «Комплексная утилизация обычных боеприпасов», М., «Вооружение. Политика. Конверсия», 2001, с. 48—59.
14. *Постнов В.Н., Рузаев В.А.* Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России, М., Миннауки РФ, 2002, № 4, с. 17—24.
15. *Postnov Vladimir N.* Report «2003 Global Demilitarization Symposium & Exhibition», Nevada, Sparks, May 19—22, 2003.
16. *Постнов В.Н.* Мат. V-й межд. научно-техн. конф. «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов». М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2003, 11—12 сентября, с. 305—318.
17. *Постнов В.Н.* Плацдарм, М., 2004, № 1(11), с. 46—53.
18. *Березин И.Г., Веденев И.В. Ермаков А.А. и др.* Мат. V межд. научно-техн. конф. «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов». М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2003, с. 96—103.
19. *Брюханов В.А., Глуцак Б.П., Лисичкин Г.В., Постнов В.Н., Сиянин С.И.* Конверсия в машиностроении, 2001, № 6(49), с. 66—73.
20. *De Carly P.S., Jamieson J.C.* Science, 1961, v. 133, № 3467, p. 1821—1822.
21. *Лямкин А.И., Петров Е.А., Еришов А.П. и др.* Докл. ДАН СССР, 1988, т. 302, № 3, с. 611—613.
22. *Анисичкин В.Ф., Мальков И.Ю., Титов В.М.* Там же, 1988, т. 303, № 3, с. 625—627.
23. *Greiner N.R., Phillips D.S., Johnson J.D., Vork F.* Nature, 1988, v. 333, № 6172, p. 440—442.
24. *Долматов В.Ю.* Успехи химии, 2001, т. 70, № 7, с. 687—708.
25. *Долматов В.Ю., Жиркевич В.Ю., Постнов В.Н.* Механика композитных материалов и конструкций. М., ИПРИМ РАН, 1999 апрель—июнь, т. 5, № 2, с. 41—47.
26. *Буркат Г.К., Долматов В.Ю., Жиркевич В.Ю., Постнов В.Н.* Там же, 2000, январь—март, т. 6, № 1, с. 58—69.
27. *Долматов В.Ю., Жиркевич В.Ю., Постнов В.Н.* Двойные технологии, М., ИА, 1998, № 3, с. 71—78.
28. *Постнов В.Н.* Мат. V-й межд. научно-техн. конф. «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов», М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2003, 11—12 сентября, с. 319—324.
29. *Баженина Н.В., Курбацкая Л.В., Постнов В.Н., Лисичкин Г.В.* Двойные технологии, М., ИА, 2004, № 2, с. 33—44.
30. *Азурейкин В.А., Крюков Б.П.* В сб.: «Численные методы механики сплошных сред», Новосибирск, 1986, т. 17, № 1, с. 17—31.
31. *Крюков Б.П., Ландин А.А., Минин В.Ф.* Современные проблемы жидкости и газа. Тез. докл. Иркутск, 1988.
32. *Соловьев В.С., Постнов В.Н.* В сб.: «Вопросы физики взрыва и удара». Тр. МВТУ № 312, выпуск № 1, М., 1980, с. 93—120.
33. *Постнов В.Н., Соловьев В.С.* В сб.: Мат. V-го Всес. симп. по горению и взрыву. Детонация. Черноголовка, 1977, с. 65—69.
34. *Азурейкин В.А., Крюков Б.П., Охитин В.Н., Соловьев В.С., Постнов В.Н.* В сб.: Химическая физика процессов горения и взрыва. Детонация. Мат. VI Всес. симп. по горению и взрыву, 1980, с. 90—92.
35. *Азурейкин В.А., Крюков Б.П., Постнов В.Н.* В сб.: Детонация. Мат. II Всес. совещ. по детонации. Выпуск II. Черноголовка, 1981.
36. *Карпенко А.П., Постнов В.Н.* Оценка эффективности диффузного алгоритма балансировки транспьютерной сети для одной задачи газодинамики, М., Препринт ИВТАН СССР № 2-320, 1991, 28 с.
37. *Глуцак Б.П., Крюков Б.П., Постнов В.Н.* Мат. II-й Всерос. научно-техн. конф. «Комплексная утилизация обычных видов боеприпасов», М., 1997, с. 94—95.
38. *Гаваза В.С., Дьяченко В.А., Глуцак Б.П., Жиркевич В.Ю., Крюков Б.П., Постнов В.Н.* Там же, с. 95—96.
39. *Глуцак Б.П., Жиркевич В.Ю., Крюков Б.П., Постнов В.Н.* Там же, с. 97—98.
40. *Глуцак Б.П., Жиркевич В.Ю., Постнов В.Н.* Там же, с. 92—93.