

Технология инерционного способа утилизации авиационных боеприпасов с учетом критерия безопасности

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
Университет гражданской защиты Украины*

Пилотируемые летательные аппараты боевого назначения (самолеты и вертолеты) в зависимости от поставленных задач оснащаются определенным комплексом авиационного вооружения. На авиационных базах и арсеналах находятся миллионы единиц авиационных боеприпасов (авиационные бомбардировочные средства поражения; неуправляемые авиационные ракеты; авиационные управляемые ракеты; авиационные патроны, снаряды) [1].

Боеприпасы потенциально представляют собой значительные материально-сырьевые ресурсы, которые могут быть извлечены в процессе утилизации и использованы для нужд экономики, но в настоящее время не используются либо уничтожаются. Хранение боеприпасов создает реальную опасность аварийной ситуации, которая может привести к значительным экологическим и материальным убыткам, а также человеческим жертвам (взрывы склада боеприпасов в Артемовске в 2003 г. и военной базы в Новобогдановке в 2004, 2006 гг.).

В связи с этим разработка технологий, обеспечивающих полную утилизацию боеприпасов, при соблюдении норм производственной и экологической безопасности является актуальной задачей, т.к. может дать значительный народнохозяйственный экономический и экологический эффект.

подавляющую массу авиационных боеприпасов представляют собой патроны, т.е. изделия, в которых посредством гильзы соединены в одно целое пуля (снаряд), пороховой заряд и устройство воспламенения пороха (капсюль). Для этого вида боеприпасов оптимальным решением задачи утилизации является демонтаж составных элементов патронов, использующий инерционный способ создания необходимых усилий для разборки, т.е. создание в узлах крепления элементов снаряжения (унитарных патронов) инерционных перегрузок - силы инерции, величина которой превосходит значение извлекающего снаряд (пулю) усилия [2,3].

Одними из основополагающих факторов, которые оказывают существенное влияние на эффективность и область применения вновь разрабатываемого метода демонтажа, являются как конструкция самого объекта исследования – боеприпаса, так и конструкция его отдельных элементов снаряжения.

В связи с этим при разработке новой рациональной технологии и нестандартного оборудования для утилизации мелкокалиберных авиационных унитарных патронов предусматриваются проведение всесторонних исследований и анализ достаточно большого количества параметров утилизируемого объекта [4].

Порядок построения технологического процесса инерционного способа демонтажа патронов можно описать следующей логической моделью, разделенной на пять стадий:

1-я стадия - технологическая подготовка и создание импульса разгона контейнера (блока) с патроном;

2-я стадия - разгон контейнера при заданных технологических характеристиках;

3-я стадия - остановка (удар), создание импульса извлечения пули;

4-я стадия - гашение инерции и удаление пули и пороха в накопительную тару;

5-я стадия - удаление капсюля из гильзы.

Процесс демонтажа боеприпаса (унитарного патрона) на элементы снаряжения (пулю, гильзу) более опасен, чем процесс снаряжения ($F_{изв} < F_{инер} < F_{иниц}$).

Условием для разработки последующей установки для демонтажа патронов является соблюдение следующего критерия безопасности:

$$K_{БП} = \frac{F_{иниц}}{F_{инер}} \leq 1, \quad (1)$$

где $F_{иниц}$ - усилие инициирования капсюля; $F_{инер}$ - инерционная сила, необходимая для выталкивания пули из гильзы.

При невыполнении данного условия произойдет инициирование капсюля, что повлечет за собой воспламенение порохового заряда и последующий «выстрел» унитарного патрона.

Главный этап, определяющий основные параметры технологического процесса инерционного демонтажа, – разгон контейнера с патроном, поэтому возникает необходимость в разработке динамической модели (рис. 1) инерционного способа демонтажа пули. При действии на контейнер линейного ускорения на все его элементы, в том числе и на снаряд (пулю), закрепленный в гильзе, будут действовать инерционные силы, направленные в сторону, обратную ускорению.

Импульс инерционных сил должен быть таким, который позволит преодолеть силы закрепления пули в гильзе патрона. Это условие можно записать в математическом виде следующей зависимостью:

$$(m_{конт} + m_{гил} + m_n + m_{пор} + m_{кап}) \frac{dV}{dt} \geq f_{дин} p_k \pi d_1 h, \quad (2)$$

где $m_{конт}$ – масса контейнера; $m_{гил}$ – масса гильзы; m_n – масса пули; $m_{пор}$ – масса пороха; $m_{кап}$ – масса капсюля; $\frac{dV}{dt}$ - величина ускорения, необходимого для разгона контейнера со снарядом; $f_{дин}$ – коэффициент трения; h - ширина участка контакта поверхности пули с дульцем гильзы; p_k – контактное давление; d_1 – диаметр пули.

Анализ зависимости (2) позволяет определить те основные технологические параметры, которые нужны для разработки технологии демонтажа: величины усилия преодоления сил закрепления (правая часть неравенства); величины импульса, необходимого для преодоления сил закрепления (левая часть).

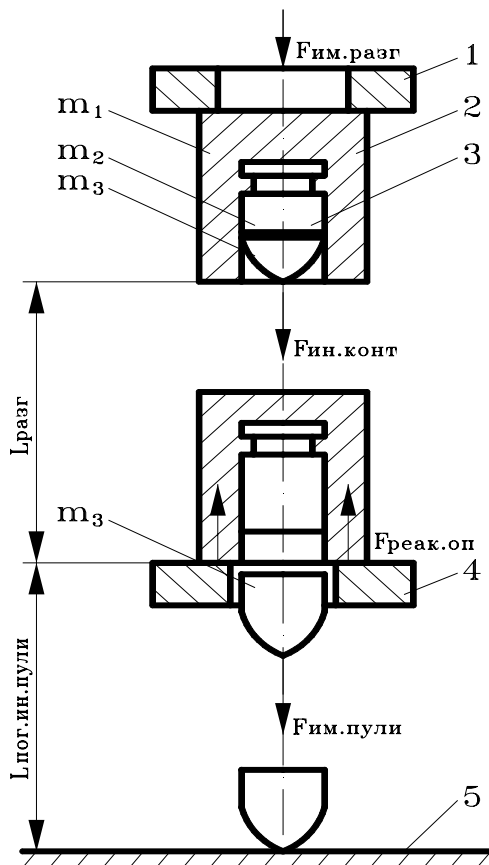


Рис. 1. Динамическая модель инерционного способа демонтажа патрона: 1 – устройство для контейнера с патроном; 2, 3 – контейнер с патроном; 4 – опорная плита, 5 – отражающий экран; m_i – масса контейнера, гильзы, пороха, пули, капсюля; $L_{разг}$ – длина разгона контейнера; $L_{пог.ин.пули}$ – длина погашения инерции пули; $F_{ин.конт}$ – усилие инерции контейнера; $F_{реак}$ – усилие реакции опоры; $F_{им.пули}$ – усилие импульса пули

В качестве расчетной схемы для моделирования НДС гильзы принят составной цилиндр, в котором пуля моделируется сплошным стержнем, а гильза – тонкостенной обечайкой (рис. 2).

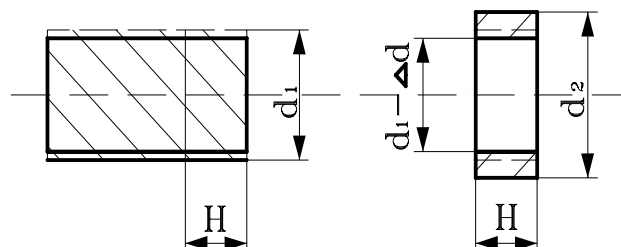


Рис. 2. Расчетная схема для определения усилий

Поскольку после посадки одного цилиндра на другой наружный радиус внутреннего цилиндра и внутренний радиус наружного цилиндра становятся

Крепление пули в гильзе осуществляется за счет посадки с определенным натягом и последующим кернением, обжимом дульца гильзы или ее кромки.

В результате этого в материалах гильзы и элементов конструкции пули возникают напряжения, которые необходимо преодолеть при демонтаже и расчете извлекающего усилия.

Способ снаряжения боеприпаса, посадки пули с определенным натягом в дульце гильзы и возникающие при этом напряжения и нагрузки, действующие на отдельные элементы узла крепления, аналогичны схеме нагружения и действия внутренних напряжений составного цилиндра [5].

Для нахождения величины силы удержания пули в гильзе основным является определение величины контактного давления p_k на сопрягаемых поверхностях при определенном натяге δ , представляющем собой разность между наружным диаметром внутреннего цилиндра I и внутренним диаметром наружного цилиндра II.

одинаковыми, то соответственно сумма абсолютных величин радиальных перемещений обоих цилиндров на радиусе поверхности контакта, вызванных контактным давлением, будет равна половине натяга:

$$|u_I| + |u_{II}| = \frac{\delta}{2}, \quad (3)$$

где u_I – уменьшение наружного радиуса внутреннего цилиндра; u_{II} – увеличение внутреннего радиуса наружного цилиндра.

Предварительно обозначив $r_{2I} = r_{1II} = r_c$, $k_1 = \frac{r_1}{r_c}$ и $k_2 = \frac{r_c}{r_2}$ получим, что радиальное перемещение контактной поверхности внутреннего цилиндра будет

$$u_I = -\frac{r_c}{E_1} \left(\frac{1+k_1^2}{1-k_1^2} - \mu_1 \right) p_k, \quad (4)$$

а радиальное перемещение контактной поверхности для наружного цилиндра будет

$$u_{II} = \frac{r_c}{E_2} \left(\frac{1+k_2^2}{1-k_2^2} - \mu_2 \right) p_k, \quad (5)$$

где E_1 и E_2 – модули упругости материала цилиндров; μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона материала цилиндров.

Выражение для определения контактного давления у разнородных материалов:

$$p_k = \frac{\frac{\delta}{2}}{\frac{r_c}{E_1} \left(\frac{1+k_1^2}{1-k_1^2} - \mu_1 \right) + \frac{r_c}{E_2} \left(\frac{1+k_2^2}{1-k_2^2} - \mu_2 \right)}. \quad (6)$$

Для случая, когда внутренний цилиндр является сплошным, что соответствует случаю установки пули в дульце гильзы, контактное давление определяется как

$$p_k = \frac{\delta}{d_1 \left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right)}, \quad (7)$$

где $c_1 = 1 - \mu_1$; $c_2 = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2} + \mu_2$; d_1 и d_2 – соответственно наружный диаметр внутреннего и наружный диаметр внешнего цилиндров.

Напряжения в составном цилиндре при действии контактного давления p_k определяются из условия рассмотрения НДС его отдельных компонентов в цилиндрической системе координат. При этом рассматривается, что внутренний цилиндр находится под действием внешнего сжимающего давления, а внешний – в условиях действия внутреннего давления, величина которых равна величине контактного давления. Как видно из эмпирических выражений (6) и (7), на величину контактного давления, а следовательно, в конечном итоге и на величину извлекающего усилия, существенное влияние оказывает величина натяга δ .

При массовом производстве пуль и гильз величина натяга может меняться в диапазоне допуска на их изготовление, в связи с чем для исследуемых образцов боеприпасов требуется определить пределы натяга. Для патронов калибра 9×18 ПМ, 9×19 «Parabellum» величина натяга колеблется в пределах $\delta = 70 \dots 150$ мкм, для патронов калибра 7,62×39 величина натяга составляет $\delta = 40 \dots 70$ мкм.

Технологическим фактором, который может оказать заметное влияние на величину контактного давления и перераспределение напряжений в материале гильзы, служит явление «перекоса» при установке пули в гильзу. При этом наиболее часто это проявляется у гильз бутылочной формы, что связано с их неустойчивостью в момент продольного сжатия в процессе снаряжения. Стало очевидным, что необходимо ввести в расчетные зависимости для определения $F_{извл}$ поправки, учитывающие все факторы крепления пули в дульце гильзы. Для этой цели используем метод конечных элементов (МКЭ).

Благодаря своей универсальности МКЭ позволяет также учесть в расчетах влияние такого технологического фактора, как перекос, и определить с учетом этого фактора извлекающее пулю усилие, что имеет актуальное значение для проектирования технологического оборудования.

При рассмотрении НДС составного цилиндра с помощью МКЭ получены распределения окружных и радиальных напряжений, а также радиальное перемещение контактирующих тел по внутреннему и внешнему цилиндрам, при сравнении которых с результатами расчетно-аналитического метода видно, что они полностью совпадают для напряжений по внутреннему цилиндрам, радиальных перемещений по внутреннему и внешнему цилиндру и незначительно отличаются для радиальных и окружных напряжений по внешнему цилиндру.

Следующим этапом теоретических исследований было рассмотрение распределения напряжений по высоте цилиндра, так как существует его не равномерность. Решение задачи определения НДС методом конечных элементов по продольному сечению составного цилиндра показало неравномерность в распределении радиальных напряжений по высоте составного цилиндра, что является следствием действия краевых эффектов. Сравнительный анализ данных о величине извлекающего пулю усилия для различных видов патронов представлен в таблице.

Данные о величине извлекающего пулю усилия $F_{извл}$

Калибр патрона	ТУ на разработку, Н	Данные заводских испытаний, Н	Расчетные данные с учетом натяга*, Н	Данные натуральных исследований, Н
9×18ПМ	200...1000	350...490	232...303**	336
9×19«Parabellum»	200...1000	250...400	220...442*	208
7,62×39	400...1100	480...700	370...660*	2346

* – натяг $\delta = 40 \dots 70$ мкм;

** – натяг $\delta = 70 \dots 100$ мкм.

Необходимо учитывать неравномерность распределения радиальных напряжений по продольному сечению, которая оказывает влияние в конечном итоге на извлекающее усилие. При наличии перекоса характер распределения радиальных напряжений по поперечному сечению становится неоднородным.

Данные о значениях величины извлекающего пулю усилия в условиях натяга и перекоса представлены на рис. 3.

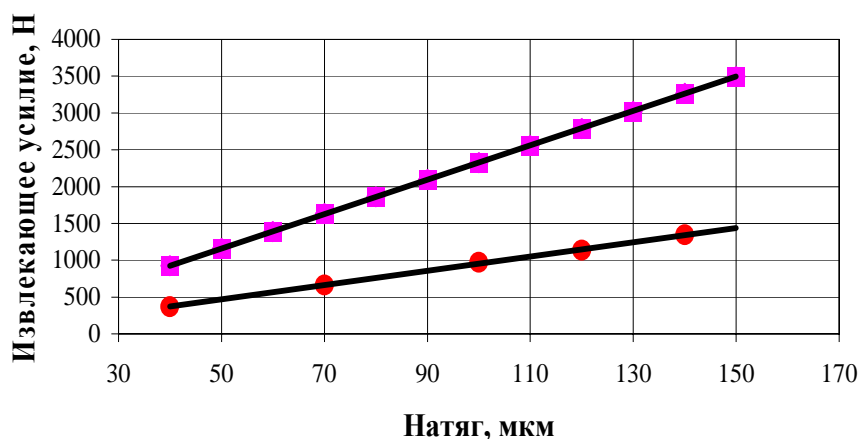


Рис. 3. Графики зависимости извлекающего усилия для патрона 7,62×39 с учетом натяга и перекоса: ● - натяг без перекоса; ■ - натяг с перекосом

Для экспериментального изучения протекающих во время этого процесса физических явлений наиболее приемлем прямой динамический метод. Он позволяет воспроизвести реальные условия демонтажа объектов исследования в условиях скоростного соударения, является наиболее простым, но в тоже время обеспечивает получение наиболее достоверной информации о происходящем процессе [6].

Для проведения экспериментов по исследованию параметров инерционного процесса демонтажа была разработана специальная импульсная газодинамическая установка (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид экспериментальной установки

Ее основой являются трубочатая направляющая для контейнера и пусковое устройство для импульсного газодинамического генератора энергии разгона патрона.

В качестве рабочего тела в генераторе используются пороховые газы, образующиеся во время горения заряда, воспламенение которого происходит при инициировании специального пиротехнического состава под действием внешней динамической нагрузки.

Под действием давления пороховых газов контейнер (рис. 5) с жестко закрепленным в нем боевым припасом (патроном) разгоняется по трубчатой направляющей и после вылета из нее ударяется о вертикально расположенную массивную металлическую плиту.

Скорость соударения контейнера с плитой фиксируется оптическим прибором для измерения скорости полета снарядов фирмы «SHOOTING CHRONY» модели M1. Благодаря варьированию массы порохового заряда стало возможным осуществления желаемых скоростей соударения - в пределах 6...100 м/с.

Во время торможения движения системы «контейнер – боеприпас» жестко закрепленная гильза останавливается вместе с контейнером, но под действием силы инерции пули продолжает двигаться вперед, и ее движению препятствует только суммарная сила, являющаяся результатом действия сил запрессовки соприкасающихся поверхностей пули и дульца гильзы и силы обжатия дульца гильзы.

В экспериментальных исследованиях стрелково-пушечные авиационные боеприпасы, с целью снижения стоимости эксперимента, моделировались обычными стрелковыми патронами калибров 9×18ПМ, 9×19 «Parabellum», 7,62×39.

В ходе проведения экспериментальных исследований были установлены факторы, которые оказывают заметное влияние на процесс инерционного демонтажа элементов снаряжения боеприпасов (масса снаряда (пули), величина площади контакта соприкасающихся участков на наружной поверхности пули и внутренней поверхности снаряда, характер фиксации пули в гильзе, скорость соударения и продолжительность процесса). Варьирование последними факторами позволяет сформулировать требования к проектированию технологического оборудования (рис. 6).



Рис. 5. Общий вид контейнера и элементов крепления экспериментального образца

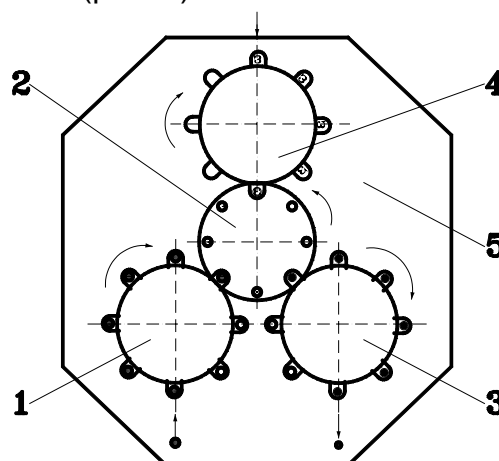


Рис. 6. Принципиальная схема роторной установки для демонтажа патронов: 1 – ротор загрузки контейнера; 2 – рабочий ротор демонтажа; 3 – ротор удаления патрона и снятия контейнера для перезагрузки; 4 – ротор загрузки энергоносителя для создания импульса силы в рабочем роторе; 5 – станина роторной машины

Роторные машины параллельного действия получили наибольшее распространение для изготовления деталей, массового производства, т.к. обеспечивают большую производительность в сравнении с обычными однопозиционными машинами.

Такие машины конструктивно состоят из ряда роторов, связанных между собой на одной общей станине и имеющих один общий привод, который сообщает всем роторам синхронное вращение.

Образцы при эксперименте практически не получили пластических деформаций, и, следовательно, после незначительной калибровки они пригодны для повторного использования в производстве таких же видов боеприпасов.

На основании полученных данных были построены графики зависимости извлекающего пулю усилия $F_{извл}$ и перемещения пули в гильзе ΔL от скорости соударения V_k .

Кроме этого, на основе аппроксимирования результатов исследований получены эмпирические зависимости для описания этого процесса.

Произведено технико-экономическое обоснование инерционного метода утилизации авиационных патронов, который подтвердил экономическую эффективность за счет повторного использования полученных элементов снаряжения [7].

Предложенная технология утилизации мелкокалиберных боеприпасов, основанная на использовании инерционного метода демонтажа для авиационного стрелково-пушечного вооружения, позволяет не только безопасно демонтировать унитарные патроны 7,62 - 12,5 мм, но и рационально использовать их отдельные элементы снаряжения (гильзу, пулю) в производственном процессе новых боеприпасов, что существенно сокращает сроки изготовления и их стоимость.

Список литературы

1. Нечипорук Н.В., Полищук Е.А. Состояние проблемы утилизации авиационных боеприпасов для систем вооружения летательных аппаратов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». - 2005. - Вып. 29. - С. 144 - 148.
2. Гладков Д.И., Балухев В.М., Григорьев В.Г. Боевая авиационная техника: Авиационное вооружение. – М.: Воениздат, 1987. – 278 с.
3. Зализняк В.Г. Конструкция и эксплуатация боеприпасов. - Х.: ХВВУТ МВД СССР, 1985. – 38 с.
4. Нечипорук Н.В., Полищук Е.А., Кобрина Н.В. Исследование процесса демонтажа авиационных мелкокалиберных боеприпасов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». - 2006. - Вып. 30. - С. 179 - 182.
5. Писаренко Г.С., Агарев В.А., Квитка А.Л. и др. Сопротивление материалов. – К.: Вища шк., 1973. – 668 с.
6. Нечипорук Н.В., Полищук Е.А., Кобрина Н.В. Экспериментальные исследования параметров инерционного процесса демонтажа элементов снаряжения авиационных боеприпасов // Авиационно-космическая техника и технология. - Х: НАКУ «ХАИ». - 2006. - Вып. №3(29). - С. 5 - 9.
7. Саркисян С.А., Старик Д.Э. Экономика авиационной промышленности. – М.: Высш. шк., 1985. – 320 с.