

# НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

**КАК ФАКТОР  
УСПЕХА В БОЮ**



**«Страх оружия —  
есть признак неполного умственного  
и эмоционального развития».**

Зигмунд Фрейд

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СОСТОЯНИЯ КАНАЛОВ СТОЛОВ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ

**В процессе боевого использования ствольной системы ствол выступает в качестве повреждаемого элемента артиллерийской установки. Качество внутренней поверхности канала ствола орудия от выстрела к выстрелу изменяется в сторону ухудшения и, наконец, достигает такого состояния, которое не обеспечивает необходимых баллистических характеристик.**

## Несколько слов об износе ствола артиллерийского орудия

Традиционно износ ствола фиксируется таблично и изображается в виде зависимости изменения диаметра зарядной камеры ствола (ЗКС) от расстояния от казенного среза, возможен вариант трехмерной визуализации износа артствола. Однако трехмерная гистограмма, хотя и показывает интенсивность нарастания повреждений в канале, но не дает полного геометрического представления об их расположении в стволе. Решить эту задачу позволяет переход к относительным единицам. Под ними понимается отношение фактического геометрического размера ЗКС или канала ствола к его калибру. При принятии допущения о симметричности процесса износа и используя трехмерную визуализацию, износ ЗКС может быть представлен в виде фигуры вращения. На рис. 1 по оси  $X$  отложено отношение глубины камеры табличное (фактическое) к длине канала ствола и выраженное в процентах. Казенный срез ствола находится слева и ему соответствует отметка 0 % (отметка 100 % — дульный срез). По осям  $Z$  и  $Y$  отложен

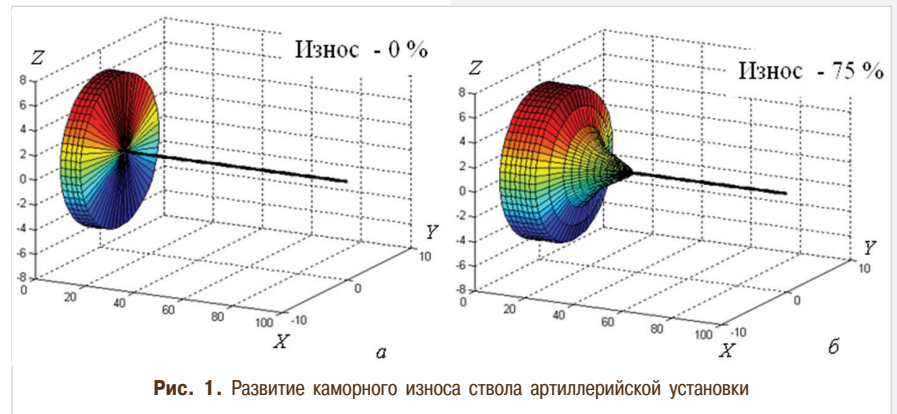


Рис. 1. Развитие камерного износа ствола артиллерийской установки

диаметр зарядной камеры, отнесенный к калибру боеприпаса. Таким образом, окружность с радиусом в 6 % большая чем полу-калибр орудия в промежутке 0–7 % по оси  $X$  показывает, что средний диаметр гильзы на 6 % больше калибра ствола. Черная горизонтальная линия соответствует участку условно не подверженному камерному износу. Фрагменты *а*, *б* рис. 1 показывают размеры зарядной камеры при износе 0 и 75 %. На фрагменте *а* при первоначальных (чертежных) размерах ствола камера составляет 7 % длины ствола. Увеличение процента износа до 75 % приводит к увеличению объема камеры и ее «продвижения» в направлении отметки 100 % (дульный срез). Совместное использование относительных единиц позволяет сравнивать интенсивность процессов износа для разных артиллерийских систем, а трехмерная визуализация отвечает требованию наглядности.

В качестве параметра, характеризующего работоспособность гладких стволов, в особенности стволов танковых (противотанковых) пушек, может быть выбрано увеличение диаметра канала ствола («диаметральный» износ). Такое решение объясняется тем, что у таких стволов значительный износ зарядной камеры происходит уже после нескольких выстрелов. Ввиду того, что гладкие стволы в основном используются для стрель-

бы прямой наводкой. В этой ситуации эффективность зависит от кучности, что вынуждает контролировать диаметр канала ствола.

## Обеспечение контроля износа гладких артиллерийских стволов

Примером штатного прибора измерения диаметрального износа является прибор контроля износа (ПКИ), который представляет собой вид механического нутромера с двухточечной измерительной базой. Фотография американского универсального прибора контроля износа каналов артиллерийских стволов, основанного на принципе контактного механического измерителя, приведена на рис. 2.



Рис. 2. Механический прибор контроля износа каналов стволов (США)



Обработка многолетних наблюдений за разрушением стволов используемых в войсках артиллерийских системам позволила определить так называемые «контрольные» точки, то есть точки ствола, наиболее адекватно передающие тенденции протекания процесса износа. Такой подход позволил осуществить переход от обследования всей поверхности артиллерийского ствола к определению характеристик ствола в контрольных точках.

Двумерное представление износа двух различных танковых стволов 125 мм гладкоствольной пушки представлено на рис. 3. Величины, отложенные по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , аналогичны тем, что приняты на предыдущем рисунке. Отличие заключается в том, что для достижения большей наглядности расположение казенного и дульного срезов рис. 3 изменено по сравнению с рис. 1 на обратное.

Анализ изображений рис. 3 *а, б* показывает, что износ танкового ствола является сложным сочетанием камерного и собственно диаметрального износа. Он представляет собой смешанный вариант, поэтому требует исследования всей поверхности канала ствола.

влияния геронтологических изменений в метательных взрывчатых веществах боеприпаса на живучесть орудийного ствола.

Таким образом, существующее разделение инструментальных методов контроля нарезного и гладкого стволов, а также камерного и диаметрального износа, основанных на использовании принципа прямых измерений механическими приспособлениями, свидетельствует о неразвитости методов контроля канала ствола.

### Сканирование поверхности ствола как новый подход к контролю его состояния

Выходом из сложившейся ситуации является применение принципа сканирования его поверхности. Одним из первых приборов, в конструкции которого реализован данный принцип, является так называемый «воздушный» измеритель. Прибор представляет собой насос, подающий в канал ствола через штангу и измерительное кольцо с отверстием воздух заданных параметров. По изменению сопротивления воздушного потока в зазоре между кольцом и поверхностью

канала ствола судят об изменении диаметра ствола. Наряду с тем, что данная измерительная схема использует принцип неконтактного (косвенного) измерения величины диаметра, в ней присутствует значительный недостаток, заключающийся в нечувствительности к ориентации несимметричного износа, т. е. к ориентации овала канала ствола.

Попытки автоматизации выполнения механических измерений и уменьшения времени, затрачиваемого на единственный замер, привели к разработке электро-механических приборов контроля износа ствола. Одним из представителей средств этого класса являются приборы BG10, BG20 [4]. С их использованием могут обследоваться стволы с калибрами 20–155 мм, при этом для 20–60 мм достигнута точность измерения  $\pm 5$  мкм, а для 61–155 мм  $\pm 20$  мкм. Оператор может вести измерения в двух режимах. В случае симметричного износа и раздутия ствола используется так называемый «нормальный» режим. Для асимметричного (неравномерного) износа предназначен режим «овал». При работе в нормальном режиме датчик автоматически вычисляет средний диаметр отверстия, а в режиме овала оценивается значение максимальной его полуоси. С использованием прибора BG20 нарезной ствол может контролироваться по полям или по нарезам.

Новый метод, позволяющий решать проблему контроля состояния канала артиллерийского ствола получил название лазерного сканирования поверхности канала ствола. Суть его заключается в следующем.

Сканирующая головка (СГ) прибора представляет собой вращающийся блок, содержащий в себе источник (позиция 1, рис. 4, *а*) и приемник

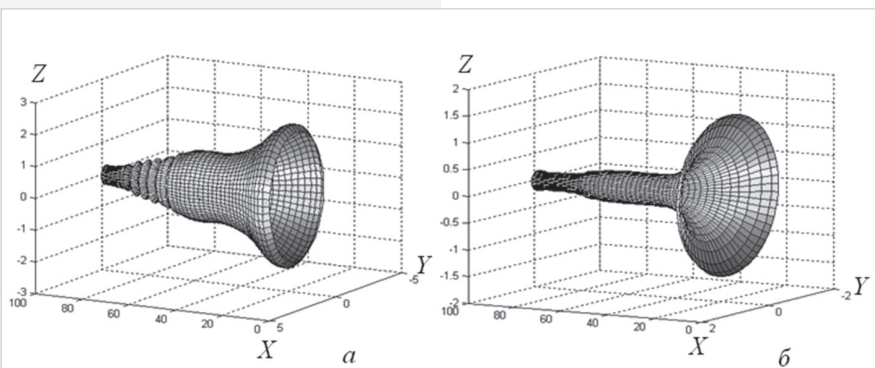


Рис. 3. Виды диаметрального износа канала ствола 125 мм танковой пушки

Используемые сейчас в целях определения степени износа (камерного, камерно-диаметрального) дисковые измерители, механические нутромеры «звездки» с одно-, двух- или трехбазным измерительным органом, воздушные измерители являются простыми и надежными средствами, однако реализованная в них идеология прямого измерения, относящаяся к 50-м–60-м годам XX в., делает затруднительной или практически не возможной операцию исследования («картографирования») всей поверхности канала ствола вне зависимости от его типа орудия нарезного или гладкоствольного, а это затрудняет решение задачи оценки

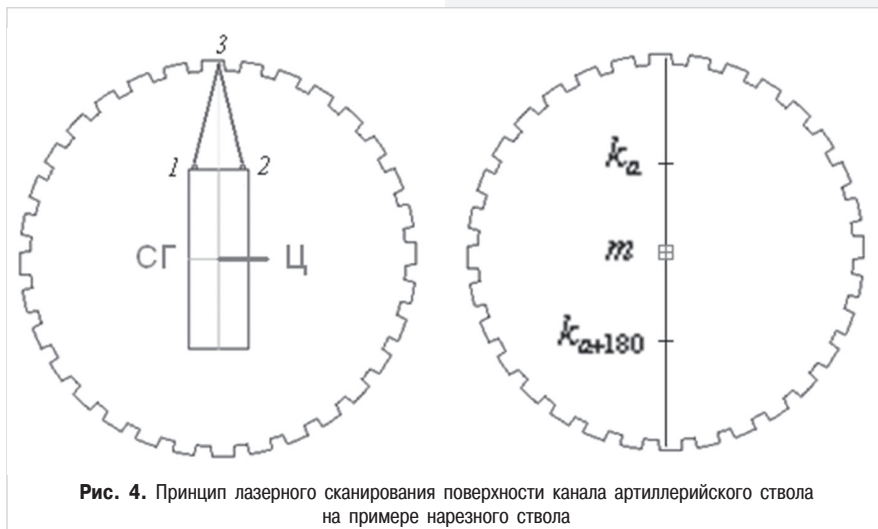


Рис. 4. Принцип лазерного сканирования поверхности канала артиллерийского ствола на примере нарезного ствола

лазерного излучения (позиция 2, рис. 4, **а**). Находясь на некотором расстоянии от дульного среза, сканирующая головка при помощи механизма центрирования автоматического центрируется в артиллерийском стволе (Ц — центр). Далее начинается процесс измерения расстояния от излучающей (принимающей) лазерное излучение боковой поверхности СГ до поверхности ствола. Посылка лазерного излучения производится по трассе 1–3, отражение от поверхности (позиция 3, рис. 6, **а**), прием излучения прошедшего трассу 3–2). Такое измерение расстояния первоначально производится для произвольного угла  $\alpha$ . Далее головка разворачивается на угол  $\alpha + 180^\circ$  и производит еще одно определение расстояния в противоположном направлении. Диаметр канала ствола ( $d$ ) определяется из соотношения (рис. 4, **б**):

$$d = k_{\alpha} + k_{\alpha+180} + m,$$

где  $k_{\alpha}$  — расстояние от головки до поверхности канала при угле  $\alpha^\circ$ ;  $k_{\alpha+180}$  — расстояние от головки до поверхности канала при угле  $\alpha + 180^\circ$ ;  $m$  — ширина измерительной головки.

Таким образом, совершая  $180/\Delta b$  измерений расстояния до поверхности канала и поворотов в диапазоне углов  $0-180^\circ$  и такое же количество измерений и поворотов в диапазоне углов  $180-360^\circ$ , получим  $180/\Delta b$  диаметров канала. Если  $\Delta b$  равно  $1^\circ$ , то получается 180 измерений диаметра канала ствола.

Выполнив заранее рассчитанное для данного калибра ствола количество измерений расстояния и поворотов вокруг своей оси, головка собирает информацию о диаметрах первого аксиального «среза». Далее совершая поступательное движение, вглубь канала ствола, СГ производит новый «срез» и так далее до ее входа в зарядную камеру орудия.

Значительная разрешающая способность по углу и дальности дает возможность реконструировать плоскостные и трехмерные поверхности, характеризующие исследуемый ствол, вне зависимости от наличия или отсутствия нарезов.

Один из примеров постобработки данных сканирования поверхности нарезного ствола с использованием системы MatLab приведен на рис. 5. На нем представлены четыре фрагмента характеризующие состояние начала нарезной части. Фрагменты **а** и **в** (рис. 5) показывают состояние шести нарезов, полученное

с интервалом в 20 выстрелов. Нумерация нарезов приведена в квадратах. Скат, расположенный на переднем плане, представляет собой переходной цилиндр от зарядной камеры к нарезной части. На реконструированных фрагментах **а**, **в** (рис. 5) хорошо видны все параметры нарезки: ширина, ширина поля, его глубина. Каждый из двух фрагментов **б**, **г** показывает три двумерных «среза», полученные сечением изображения (**а**, **в**) параллельными плоскостями. Отрицательное действие выстрелов на нарезы выражается в виде сплющивания их кромок, начальной стадии разрушения нарезов № 3 и № 5 (фрагмент **в**).

общую площадь аномального износа; площадь и глубину трещин.

Такая совокупность параметров позволяет накапливать статистические данные по особенностям влияния боеприпаса (боеприпасов) на ствол, группу однотипных стволов. В виду того, что технология лазерного сканирования позволяет проводить его в промежутках между выстрелами, а разрешающая способность датчика способна выявить изменения поверхности ствола после каждого очередного выстрела, сканирование можно использовать как средство неразрушающего контроля и оценки падения начальной скорости боеприпаса.

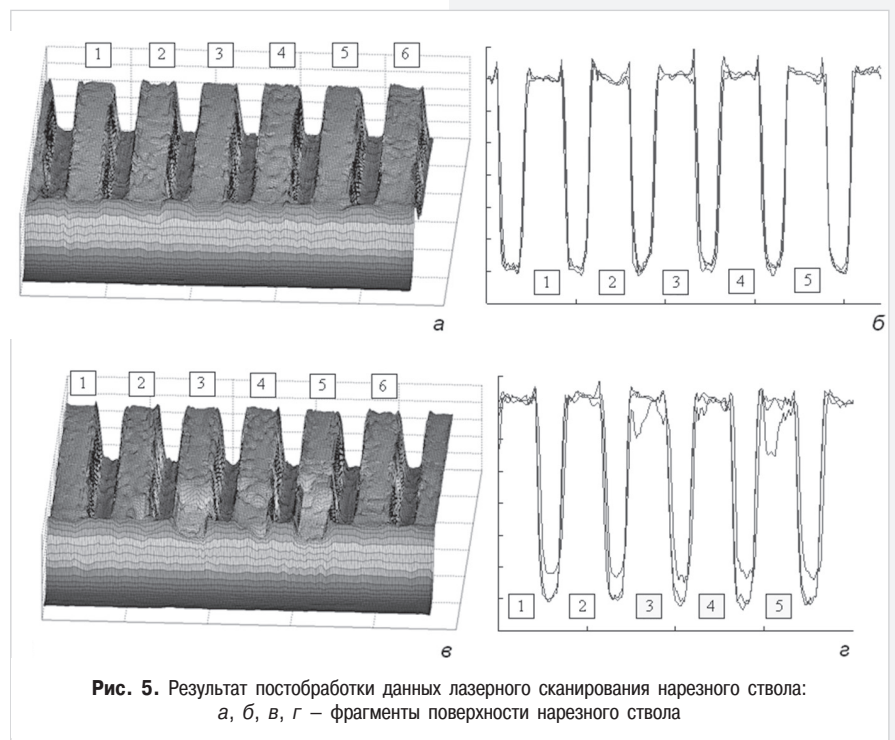


Рис. 5. Результат постобработки данных лазерного сканирования нарезного ствола: **а**, **б**, **в**, **г** — фрагменты поверхности нарезного ствола

Высокоинформативная техника лазерного сканирования ствола для оценки влияния боеприпаса на ствол (в частности боеприпаса, подвергнувшегося геронтологическим изменениям), позволяет контролировать следующие 11 параметров: среднюю ширину нарезки по его номеру; усредненное значение средней ширины нарезов; среднюю ширину поля нарезки по его номеру; усредненное значение среднего поля нарезов; среднюю глубину нарезки по его номеру; усредненное значение глубины нарезов; диаметр канала ствола по нарезкам с номерами; усредненное значение диаметра по нарезкам; диаметр канала ствола по полям нарезов с номерами; усредненное значение диаметра ствола по полям нарезов;

Переход от механических средств измерения к электромеханическим и лазерным сканирующим средствам способны обеспечить точность измерения внутреннего диаметра ( $\pm 5$  мкм). Трехмерная визуализация данных совместно с использованием относительных величин позволяет сравнивать интенсивность износа стволов различных артиллерийских установок между собой и отвечает принципу наглядного представления данных.

В. Л. Хайков

С полным текстом данного исследования можно ознакомиться в журнале «Восточно-Европейский журнал передовых технологий», № 3/7(63).2013