

Нелаев В.П.

**МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО РЕЗЕРВА  
СТВОЛЬНЫХ СИСТЕМ ОГНЕСТРЕЛЬНОГО МЕТАНИЯ  
В КОНТЕКСТЕ ПРОБЛЕМЫ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ**

*«Бог сражается на стороне тех,  
у кого лучшая артиллерия!»*  
Наполеон Бонапарт

**Введение.** В последнее время нередко возникают дискуссии о необходимости замены той или иной стоящей на вооружении ствольной системы другой, более мощной системой. При этом иногда имеется в виду повышение могущества оружия за счет увеличения калибра. Ярким примером такой дискуссии может служить полемика на страницах издания «Независимое военное обозрение» за 2004–2005 годы между признанными экспертами Владимиром Одинцовым и Владимиром Заборским по вопросу о целесообразности замены на кораблях популярной пушки калибра 30-мм (АК-630) зарубежной автоматической пушкой калибра 40-мм шведской фирмы «Бофорс».

К системам, требующим замены зарубежными аналогами с целью повышения могущества, различные, в том числе и зарубежные, эксперты чаще всего относят также стрелковое оружие калибра 7,62-мм и 9-мм.

Практическая реализация таких предложений потребует от страны вложения огромных ресурсов: финансовых, материальных, кадровых.

Вместе с тем практика показывает, что для некоторых ствольных систем удастся повысить мощность за счет увеличения дульной скорости снаряда при сохранении максимального давления пороховых газов в пределах предписанных изготовителем ограничений. Потребность в повышении скорости снаряда на систематической основе является актуальной для ряда гладкоствольных и нарезных систем.

Возникает естественный вопрос – нельзя ли решить проблему повышения могущества отечественных ствольных систем путем частичной или полной замены одного лишь метательного порохового заряда и избежать, таким образом, непомерных ресурсозатрат?

Анализ процедуры создания ствольных систем и предварительные пробы решения проблемы позволяют в ряде случаев ответить на данный вопрос положительно.

Известно [1], что баллистическое проектирование ствольных систем заключается в решении задачи определения оптимальных значений основных конструктивных характеристик канала ствола и условий заряжания после того, как выбраны необходимые для успешного решения боевой задачи тип снаряда, его калибр  $d$ , масса  $m$  и дульная скорость  $v_d$ .

Одной из характеристик выстрела в баллистике ствольных систем огнестрельного метания является баллистический к.п.д., значение которого определяется выражением

$$R_d = \frac{\varphi m v_d^2}{2s(l_0 + l_d)P_m}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – коэффициент учета второстепенных работ;  $s$  – площадь поперечного сечения канала ствола;  $l_0$  – приведенная длина каморы;  $l_d$  – длина пути движения снаряда в канале ствола;  $P_m$  – максимальное давление пороховых газов в канале ствола.

Обычно значение  $R_d$  лежит в пределах от 0,40 до 0,60. С ростом значения  $R_d$  увеличивается могущество ствольной системы, возрастает ее поражающая способность.

Поэтому при создании ствольной системы конструкторы обычно стремятся так согласовать различные характеристики, чтобы получилось наибольшее значение  $R_d$ . При этом для метательного заряда назначается соответствующее количество  $\omega$  конкретного пороха.

Из (1) следует, что при неизменных конструктивных характеристиках системы и ограниченном давлении пороховых газов величина  $R_d$  может быть увеличена только лишь за счет повышения дульной скорости снаряда  $v_d$ .

Баллистический к.п.д.  $R_{\partial}$  непосредственно связан с характеристикой заполнения индикаторной диаграммы  $\eta_{\partial}$  [2]

$$R_{\partial} = \frac{l_{\partial}}{l_0 + l_{\partial}} \eta_{\partial}. \quad (2)$$

Значение  $\eta_{\partial}$ , в свою очередь, определяется выражением

$$\eta_{\partial} = \frac{\int_0^{l_{\partial}} p(l) dl}{l_{\partial} P_m}. \quad (3)$$

Если положить  $l = \lambda l_{\partial}$ , то последнее выражение можно записать в виде

$$\eta_{\partial} = \frac{\int_0^1 P(\lambda) d\lambda}{P_m}. \quad (4)$$

Из такого представления баллистического к.п.д. через характеристику заполнения индикаторной диаграммы следует, что значение дульной скорости  $v_{\partial}$ , а вместе с ним и значение  $R_{\partial}$ , для конкретно заданной ствольной системы огнестрельного метания определяются исключительно динамикой развития давления пороховых газов в заснарядном пространстве в процессе движения снаряда по каналу ствола.

Баллистикам известно, что функция  $P(\lambda)$  в заданной ствольной системе формируется, главным образом, двумя характеристиками условий заряжания – плотностью заряжания  $\Delta$  и параметром  $B$  профессора Дроздова Н.Ф.

:

$$\Delta = \frac{\omega}{W_0} \text{ и } B = \frac{s^2 I_k^2}{\varphi f m \omega}, \quad (5)$$

где  $W_0$  – объем каморы;  $I_k$  – импульс давления пороховых газов;  $f$  – сила пороха.

Из выражений (5) видно, что ответственными за конфигурацию функции  $P(\lambda)$  для конкретной ствольной системы являются величины  $\omega$ ,  $I_k$  и  $f$ , которые представляют порох в метательном заряде. Следовательно, основной предпосылкой для повышения баллистического к.п.д. ствольной системы является возможность контролируемого изменения указанных параметров пороха.

Необходимо оговориться, что промышленностью наработаны конкретные штатные пороха с известными фиксированными значениями характеристик  $I_k$  и  $f$ . Для каждой ствольной системы назначается порох с соответствующим значением импульса. Таким образом, если в метательном заряде используется некий штатный порох «Н», то мы можем влиять лишь на его количество  $\omega$ , и не в силах изменить его характеристики  $I_k$  и  $f$ , значения которых являются как бы привязанными к марке пороха. Можно говорить лишь о возможности или невозможности применения другой марки пороха и, соответственно, других значений  $\omega$ ,  $I_k$  и  $f$ .

Опираясь на многолетний опыт баллистического анализа различных ствольных систем можно сделать вывод о том, что в некоторых случаях «родной» для ствольной системы метательный заряд оставляет существенный запас возможности повышения баллистических свойств системы. Практический интерес состоит в том, чтобы выявить этот запас и реализовать на промышленной базе. Для решения данной задачи необходима методическая основа, которой, к сожалению, известные отечественные и зарубежные источники не содержат.

Чтобы закрыть этот пробел, предлагается метод, состоящий из двух этапов:

– выявление баллистического резерва ствольной системы;

– модернізація металевого заряду, яка має на меті підвищення практичної востребованості виявленого баллістического потенціалу даної системи.

**Виявлення баллістического резерва.** Питанню про критеріях оцінки баллістических можливостей артилерійських систем багато уваги приділив відомий баллістик проф. Горохов М.С.

В межах традиційного підходу до оцінки баллістических можливостей системи [1, 2] прийнято вважати, що найбільша швидкість досягається, коли  $\eta_{\delta}$  дорівнює 1, тобто, згідно (4), коли  $P(\lambda) = P_m$  на всьому шляху руху снаряду. Однак миттєво вийти в момент початку руху снаряду на рівень  $P_m$ , зберігаючи умову  $P(\lambda) = P_m$  на всьому шляху снаряду і доводити дульне тиск до значення  $P_m$  проблематично і небезпечно. Крім того, часто трапляється так, що значення  $P_m$  не збігається з паспортним значенням допустимого експлуатаційного тиску порохових газів  $P_{lim}$ . В зв'язі з сказаним стає очевидним, що традиційний підхід, орієнтований на оцінку значення  $\eta_{\delta}$ , не можна вважати прийнятним для практики.

В частині, проф. Горохову М.С. належить висновок про те, що за таких величин як  $\eta_{\delta}$  і  $R_{\delta}$  не можна судити про баллістическі якості системи.

В якості прикладу проведемо в межах звичайного підходу внутрібаллістический аналіз вистрелу з охотничього дробового ружя 12 калібру. Використаємо паспортні дані популярного «ІЖ-43» [3]. Патрон зарядимо відомим порохом «Сокол» [4] і дробом марки ОТ-6 при нормальній температурі.

Результати такого аналізу показують:

- використаний порох «Сокол» для даної ствольної системи є острым;
- значительная доля пороха не успевает сгореть в канале ствола и выбрасывается наружу вслед за дробовым снарядом, создавая эффект чрезмерного дульного пламени;
- максимальное давление пороховых газов ( $547 \text{ кг/см}^2$ ), дульная скорость снаряда (331 м/с) и дульное давление соответствуют паспорту на ружье, хотя значение  $P_m$  существенно ниже того значения, которое указано в паспорте как  $P_{lim}$  (рис. 1);
- значение величины  $\eta_{\delta}$ , равное 0.17, является довольно низким.

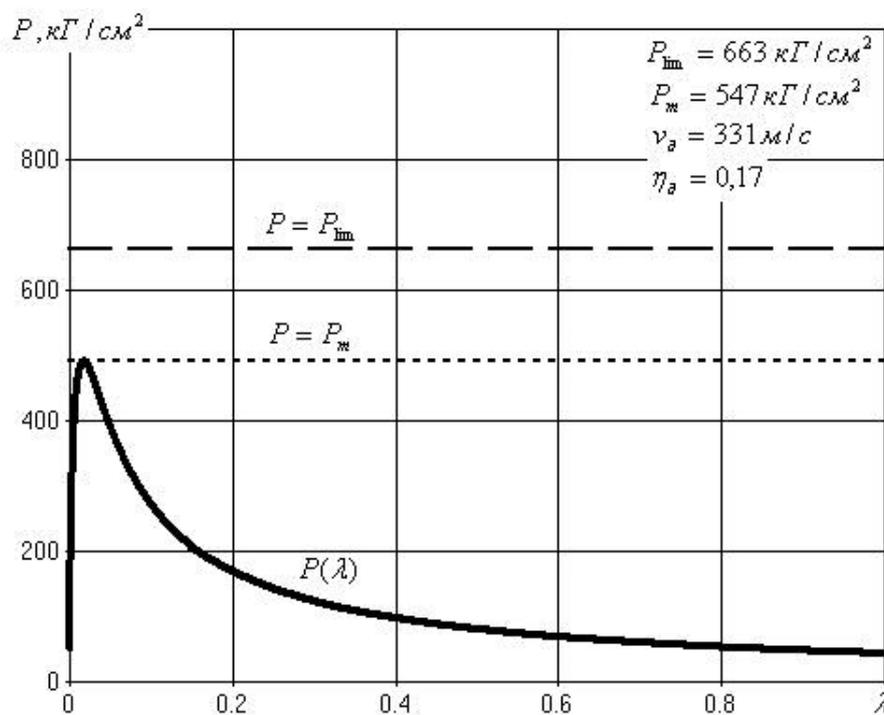


Рисунок 1 – Результати традиційного внутрібаллістического аналізу для охотничього ружя «ІЖ-43»

Все указывает на то, что система является недогруженной, и для увеличения скорости метания снаряда можно было бы увеличить массу пороха при снаряжении патрона. Однако, в связи с тем, что порох является острым, существенного увеличения массы порохового заряда допускать нельзя, поэтому величину  $\eta_{\sigma}$  таким путем заметно увеличить не удастся.

Количественная мера недогруженности в данном примере остается нераскрытой. Рис. 1 не дает возможности увидеть тот баллистический идеал, к которому следовало бы устремить систему.

Как видно из выражений (1) и (4), значение  $v_{\sigma}$  является результатом всей предыстории воздействия давления пороховых газов на снаряд при движении последнего в сторону дульного среза. Эта предыстория представлена функцией  $P(\lambda)$ .

Как для данной системы построить такую идеальную кривую  $P_N(\lambda)$ , которая обеспечивала бы наибольшее значение дульной скорости и, вместе с тем, отвечала бы требованию безопасности выстрела?

Известно, что толщина стенки ствола переменна в направлении движения снаряда [5]. Таким образом, в действительности локальное значение предела упругого сопротивления стенки ствола является величиной переменной и может быть представлено конкретным видом некоторой функции  $\sigma(\lambda)$ .

Очевидно, нельзя допускать, чтобы на некотором участке пути снаряда наступило событие, когда прочность стенки недостаточна, чтобы выдержать давление газов, – кривые  $P(\lambda)$  и  $\sigma(\lambda)$  в таком случае пересекутся. На этом участке ствол неминуемо будет раздут или разорван. Логично принять значение  $P_{\text{lim}}$  в качестве наибольшего из всех возможных максимальных значений давления пороховых газов при манипулировании параметрами метательного заряда. Следовательно, значение  $P_{\text{lim}}$  отвечает участку ствола, имеющему самые толстые стенки.

Учитывая вышесказанное, сформулируем требования к  $P_N(\lambda)$ .

1. Кривые  $P_N(\lambda)$  и  $\sigma(\lambda)$  не должны пересекаться:

$$(\sigma(\lambda) - P_N(\lambda)) \leq \varepsilon(\lambda), \quad 0 \leq \lambda \leq 1,$$

где  $\varepsilon(\lambda)$  – принятый в процессе проектирования ствола запас прочности стенок последнего вдоль пути движения снаряда.

2. Кривая  $P_N(\lambda)$  должна включать, по меньшей мере, четыре контролируемые точки:

$$\begin{aligned} \lambda = 0, \quad P_N(0) &= P_0; \\ \lambda = \lambda_m \leq \lambda_0, \quad P_N(\lambda_m) &= P_m \leq P_{\text{lim}}; \\ \lambda = \lambda_k \cong 0.8, \quad P_N(\lambda_k) &= P_k \leq 0.5 \cdot \sigma(\lambda_k); \\ \lambda = 1, \quad P_N(1) &= P_{\sigma}. \end{aligned}$$

Здесь  $P_0$  – давление форсирования,  $\lambda_0$  – приведенное значение длины каморы.

3. Кривая  $P_N(\lambda)$  должна быть гладкой.

Очевидно, величина

$$\Pi = \int_0^1 P_N(\lambda) d\lambda \quad (6)$$

является индикатором реального баллистического потенциала системы. Вычисление максимально возможного для исследуемой системы «ствол + снаряд» значения дульной скорости снаряда при безопасных для системы давлениях независимо от состава и конструкции метательного заряда можно произвести по формуле

$$v_{\Pi} = \sqrt{\frac{2 s l_{\sigma} \Pi}{\varphi m}}. \quad (7)$$

Из формулы (7) следует, что при фиксированных конструктивных характеристиках системы  $s$ ,  $l_0$  и  $m$  ответственность за максимальную дульную скорость снаряда лежит именно на величине  $\Pi$ .

Как правило, потенциал  $\Pi$  системы востребован частично, какая-то его часть не востребована. Недостающая востребованность потенциала ( $НВП$ )

$$НВП = \left(1 - \frac{\int_0^1 P(\lambda) d\lambda}{\Pi}\right) \cdot 100, \% \quad (8)$$

является, по сути, баллистическим резервом ствольной системы, который, как раз, и заслуживает пристального внимания специалистов, поскольку его практическая реализация обеспечивает безопасное достижение наибольшей дульной скорости  $v_{\Pi}$ .

Известна процедура прочностного расчета ствола-моноблока при баллистическом проектировании ствольных систем [2]. Эта процедура содержит, в частности, такие шаги, как построение огибающей максимальных давлений на основе внутрибаллистических расчетов для различных начальных температур, построение кривой желаемых давлений с использованием рекомендованных значений  $\varepsilon(\lambda)$  и, наконец, построение внешнего контура ствола.

При изготовлении стволов, прошедших через процедуру баллистического проектирования, нередко стенку ствола по ряду причин делают более прочной по сравнению с проектом. В числе таких причин могут быть, например, использование более прочной стали, недостаточная механическая прочность баллистически спроектированного ствола как элемента сложного комплекса динамически взаимодействующих подсистем, недостаточная точность внутрибаллистических расчетов на основе, например, известных таблиц ГАУ или применение «чужеродного» метательного заряда (переход на другую массу или марку пороха). Очевидно, в таких случаях возможно появление дополнительного баллистического резерва данной ствольной системы.

Попытаемся оценить баллистический резерв рассмотренного ранее охотничьего дробового ружья 12-го калибра. Допустим, что конструкция ствола дробового ружья близка к типичной [5] и что ствол изготовлен из стали 50А с пределом упругости  $4500 \text{ кГ/см}^2$ .

Выполним процедуру прочностного расчета ствола-моноблока при баллистическом проектировании ствольных систем в обратном порядке. В качестве конечного шага построим огибающую максимальных давлений, но не на основе внутрибаллистических расчетов для различных начальных температур, а на основе заданных конструктивных характеристик ствола. Характеристики метательного заряда отложим пока в сторону.

Когда заданы внутренняя и наружная конфигурации ствола, а также предел упругости материала стенки, нетрудно определить линию предела упругого сопротивления ствола-моноблока  $\sigma(\lambda)$ . Если после этого учесть заданное распределение  $\varepsilon(\lambda)$ , то можно вычислить значения желаемых максимальных давлений в характерных точках пути снаряда [2]. При этом будет логичным принять за начало кривой желаемых давлений установленное заводом значение допускаемого эксплуатационного давления пороховых газов  $P_{\text{lim}}$ .

Таким образом, на диаграмме контролируемые точки идеальной кривой будут расположены не выше кривой желаемых давлений.

Результаты внутрибаллистического анализа для ружья «ИЖ-43» с учетом функций  $\sigma(\lambda)$ ,  $P_N(\lambda)$  и принятых допущений показаны на рис. 2.

Как видно, кривая идеального давления  $P_N(\lambda)$  удовлетворяет всем сформулированным требованиям к ней. Оказывается, рассматриваемая ствольная система имеет значительный баллистический резерв в виде  $НВП = 57\%$ , практическая реализация которого в данном случае позволила бы достичь значения дульной скорости снаряда, равного  $504 \text{ м/с}$ , не повредив при этом материальную часть.

Такого важного вывода традиционный подход дать в принципе не может.

Использованные характеристики ствола и метательного заряда могут быть уточнены, но принципиальных изменений в получаемые результаты это не внесет.

Следует отметить, что положение идеальной кривой и значение дульной скорости  $v_{\Pi}$  не зависят от начальной температуры порохового заряда. Последняя лишь влияет на количественную оценку  $НВП$ . В связи с этим вычисленное значение  $НВП$  желателен сопровождать указанием на начальную темпера-

туру, например,  $HВП_{+15}$ . При этом нужно сознавать, что применяемый в метательном заряде порох может характеризоваться отрицательным температурным градиентом скорости горения.

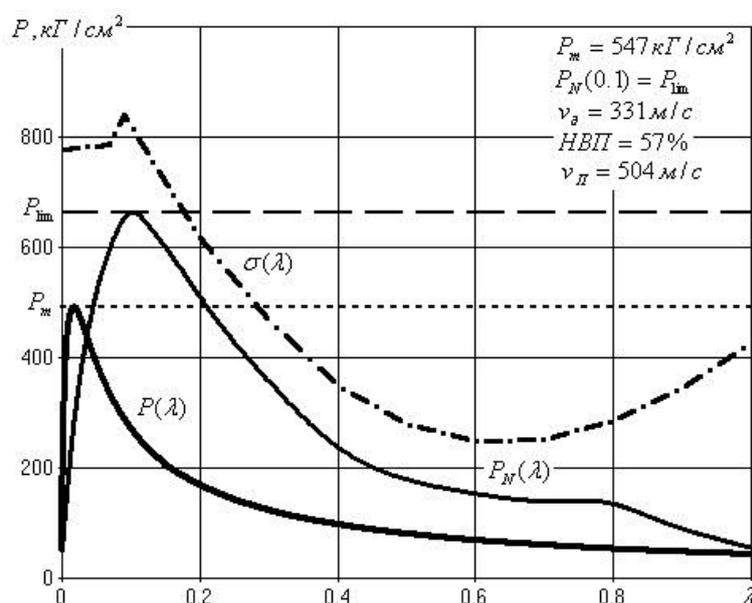


Рисунок 2 – Внутрибаллистический анализ для охотничьего ружья «ИЖ-43» в рамках предлагаемого метода

Следует также отметить, что предложенная процедура является универсальной и пригодна для любой ствольной системы, будь это гладкоствольная или нарезная, малокалиберная или крупнокалиберная, короткоствольная или длинноствольная система.

**Модернизация метательного заряда.** Практическая реализация выявленного баллистического резерва исследуемой ствольной системы возможна лишь на основе модернизации метательного заряда. Чаще всего это означает полную или частичную замену штатного порохового заряда такими пороховыми элементами, которые способствуют сближению кривых  $P(\lambda)$  и  $P_N(\lambda)$  (рис. 2) при соблюдении условия

$$P(\lambda) \leq P_N(\lambda), \quad 0 \leq \lambda \leq 1.$$

Как правило, штатные пороха не подходят на роль заменяющих пороховых элементов. Зачастую требуются нестандартные пороховые элементы, которые промышленностью не производятся. Это обусловлено тем, что процедура модернизации метательного заряда сопряжена с последовательным подбором компоновки заряда на основе манометрических проб и внутрибаллистических расчетов под индивидуальные особенности конкретной ствольной системы. При этом иногда требуются пороховые элементы с повышенным содержанием азота в нитроцеллюлозе, что вызывает серьезные затруднения при пластификации последней. Традиционные технологии производства порохов не приспособлены для изготовления оригинальных пороховых элементов.

Выход дает N&L-технология [6, 7], имеющая, по сравнению с традиционными технологиями, большее число рецептурно-технологических степеней свободы. Эта технология удачно вписывается в процедуру последовательного подбора при частичной или полной замене метательного заряда заданной ствольной системы. Каждый пороховой элемент, изготовленный на основе N&L-технологии, призван внести свой вклад в процесс приближения кривой  $P(\lambda)$  к идеальной кривой  $P_N(\lambda)$ , поэтому все эти элементы имеют индивидуальные свойства, выраженные через массу  $\omega$ , силу  $f$ , а также один из известных в баллистике законов скорости газообразования, например, закон в форме Шарбонье

$$\frac{d\Psi}{dt} = A(1 - \Psi)^\beta P^\nu.$$

Перечисленные индивидуальные свойства отдельных пороховых элементов определяются с помощью стандартных процедур манометрического анализа.

Существует широкий выбор возможных вариантов компоновки метательного заряда при частичном или полном замещении штатного пороха оригинальными пороховыми элементами. На рис. 3 и рис. 4 приведены возможные примеры частичного замещения штатного метательного заряда.

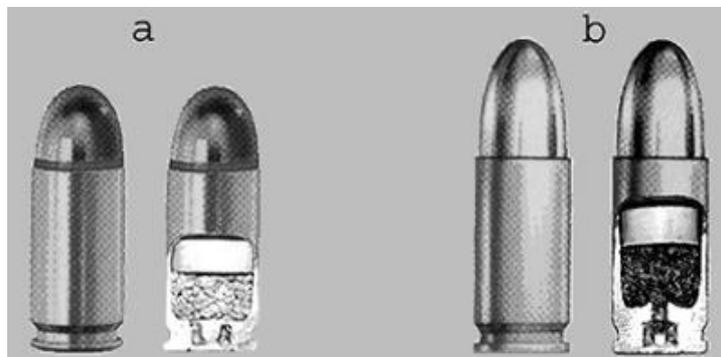


Рисунок 3 – Патрон 9x18мм MAKAROV (a) и патрон 9x19мм LUGER (b): штатный порох частично замещен одним пороховым N&L-элементом



Рисунок 4 – Патрон 30мм: штатный порох частично замещен несколькими различными пороховыми N&L-элементами

Конкретная компоновка метательного порохового заряда для выбранной ствольной системы определяется на основе внутрибаллистических расчетов по принципу последовательного приближения кривой  $P(\lambda)$  к идеальной для данной системы кривой  $P_N(\lambda)$  с учетом индивидуальных свойств отдельных компонентов заряда.

Имеющийся опыт показывает, что N&L-технология может быть успешно осуществлена в условиях действующего порохового завода.

**Выводы.** Предложен метод выявления и практической реализации баллистического резерва ствольных систем огнестрельного метания. Метод содержит два этапа – выявление баллистического резерва заданной ствольной системы (этап 1) и модернизация метательного заряда (этап 2).

На примере гладкоствольного охотничьего ружья осуществлена процедура выявления баллистического резерва, показаны результативность и информативность метода.

С целью обеспечения практической реализации выявленного баллистического резерва системы рекомендовано модернизацию метательного порохового заряда производить путем использования пороховых элементов, изготовленных на основе N&L-технологии.

Предложенный метод не ограничен калибром или спецификой целевого назначения оружия и может быть применен к любой ствольной системе огнестрельного метания, исследуемой на предмет повышения баллистической эффективности.

### Литература

1. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. М.: Оборонгиз, 1962. 703 с.
2. Медведев Ю.И. Теория баллистического проектирования ствольных систем: Учебное пособие.– Томск: Изд-во Том. ун-та, 1992. 92 с.
3. Ружья двуствольные охотничьи ИЖ-43. Паспорт на рус., фр. и нем. яз. С-У. Зак.624. – М.: Внешторгиздат. Изд. № 1835СО. 16 с.
4. ГОСТ 22781-77. Порох охотничий бездымный «Сокол». – М.: Госстандарт СССР.

5. Трофимов В.Н. Охотничье оружие. Устройство, неисправности, уход: – М.: «Издательство Рученькина», Мн.: «Современное Слово», 1997. – 320 с.

6. Патент Российской Федерации на изобретение №2221763 МПК С06В 21/00 25/18 45/02 С06D 5/00 Способ изготовления непластифицированной нитроцеллюлозной основы консолидированного заряда и консолидированный метательный заряд на такой основе / Нелаев В.П., Легейда Г.А. Опубл. 20.01.2004 Бюл. № 2.

7. Патент України на винахід №74558 МПК(2006) С06В 25/00 С06В 21/00 С06В 45/00 Спосіб виготовлення нітроцелюлозної основи консолидованих зарядів і консолидований металевий заряд на такій основі / Нелаєв В.П., Легаєйда Г.А. Опубл. 16.01.2006. Бюл. № 1.

УДК 623.4:623.52

Нелаєв В.П.

**МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ І ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ БАЛІСТИЧНОГО РЕЗЕРВУ СТВОЛЬНИХ СИСТЕМ ВОГНЕПАЛЬНОГО МЕТАННЯ У КОНТЕКСТІ ПРОБЛЕМИ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Запропоновано метод виявлення і практичної реалізації балістичного резерву ствольних систем вогнепального метання. На прикладі гладкоствольної мисливської рушниці показана ефективність методу. Запропонований метод не обмежений калібром або специфікою цільового призначення і може бути застосований до будь-якої ствольної системи вогнепального метання, балістична ефективність якої вивчається на предмет підвищення.

Nelayev Victor P

**METHOD OF REVEALING AND PRACTICAL REALIZATION OF THE GUN BALLISTIC RESERVE IN THE CONTEXT OF THE RESOURCE-SPARE PROBLEM**

The method of revealing and practical realization of the gun ballistic reserve is offered. On the example of smoothbore hunting gun effectiveness of the method is shown. The offered method is not restricted by a caliber or gun specific and can be applied to any gun, which ballistic efficiency is explored for the purpose of increase.