

УДК 623.4.085.2

doi: 10.53816/20753608_2025_1_134

КОНСТРУКЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЕДУЩЕГО ПОЯСКА ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

DESIGN, TECHNOLOGY AND RESOURCE-SAVING CAPABILITIES OF THE HIGH-STRENGTH DRIVING BELT

По представлению чл.-корр. РАРАН Б.Э. Кэрта

А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, М.С. Хребтова

Новосибирский государственный технический университет

A.V. Guskov, K.E. Milevsky, M.S. Khrebtova

Одним из вариантов перспективных ведущих поясков к артиллерийским снарядам является ведущий поясок повышенной прочности из материала корпуса. В результате лабораторных и полигонных экспериментов установлено, что преимуществами данного ведущего пояса являются управляемость конструкции, снижение трудоемкости и себестоимости изготовления, повышение технологичности в сравнении со штатными ведущими поясками.

Ключевые слова: ведущий поясок, ведущий поясок повышенной прочности, артиллерийский снаряд.

One of the options for promising driving belts for artillery shells is a high-strength driving belt made of the case material. As a result of laboratory and field experiments, it was established that the advantages of this driving belt are the controllability of the design, reduced labor intensity and cost of production, and increased manufacturability in comparison with standard driving belts.

Keywords: driving belt, high-strength driving belt, artillery shell.

Введение

Развитие современной артиллерии приводит к возрастающей потребности в повышении эффективности артиллерийских снарядов (АС), увеличении кучности и дальности стрельбы. Кроме того, для успешной модернизации АС необходимо проводить корректное определение условий, создаваемых рабочим давлением продуктов горения зарядов повышенной мощности, при высоких скоростях скольжения по каналу ствола (КС), которые увеличивают нагрузки на АС. Основным элементом, обеспечивающим

взаимодействие «КС-АС», — ведущий поясок (ВП) подвергается экстремальным воздействиям. В таком случае имеется более высокая необходимость в модернизации АС, которая приводит к повышению требований к конструкции ВП по прочности материала, по надежности функционирования ВП, а также к усложнению, например к необходимости создавать сложный профиль, либо увеличить количество ВП на корпусе АС.

Штатный ведущий поясок — отдельная деталь, изготовленная из материала меди М1 (или ее сплавов, а также железокерамики) и закрепленная в канавку корпуса АС. Активно ведутся

научные исследования по поиску новых материалов (пластмасс, сплавов на основе железа и т.д.) и способов крепления ВП, например наплавка или сварка взрывом [1].

Анализ конструкций ВП и проведенный патентный поиск показывают, что штатный ВП ограничивает технические характеристики АС по следующим причинам:

- необходимость канавки под ВП — наличие концентратора напряжений, который снижает фрагментацию (известны случаи, когда при срабатывании АС донный стакан оставался целым), а необходимость формирования обратного конуса в донной части АС уменьшает объем зарядной камеры вследствие компенсации толщины корпуса снаряда под канавкой;

- технологическая наследственность материала при запрессовке ВП в канавку имеет недостатки: увеличивается разностенность корпуса при сборке за счет возможного смещения ВП в канавке, невозможность определения качества заполнения канавки и рифлей материалом ВП;

- в условиях высокоскоростного прохождения АС по каналу ствола происходит перенос материала ВП, меди М1, на поверхность канала ствола (омеднение), что приводит к необходимости введения в состав выстрела дополнительного элемента — свинцового размеднителя.

Одно из перспективных направлений совершенствования ВП — разделение профиля ВП на

кольцевые выступы, то есть переход к конструкции гребенчатого ведущего пояса (ГВП) [3]. Изменение механизма деформации ВП за счет смены его профиля обеспечивает как снижение нагрузки при врезании, так и соблюдение условия прочности боевого выступа, и дает возможность использовать материал с большей прочностью, чем медь — материал корпуса АС, сталь С60. Таким образом, ГВП является ВП повышенной прочности, и это техническое решение обеспечивает возможность снижения трудоемкости и повышения эффективности производства корпусов АС, так как ВП становится конструктивным элементом корпуса.

Научно-методологический аппарат для обоснования работоспособности ГВП

На рис. 1 представлены схемы двух конструкций ВП: штатный медный ВП к АС, устанавливаемый в канавку типа «ласточкин хвост», и предлагаемый ГВП [2–4].

С целью исследования основных значимых физических процессов в ходе взаимодействия «ВП-КС» при выстреле разработан комплекс методик, лабораторных и натурных экспериментов. Блок-схема алгоритма исследования критериев работоспособности ВП при выстреле приведена на рис. 2 [5].

Для обоснования работоспособности конструкции ГВП и ее возможностей в части

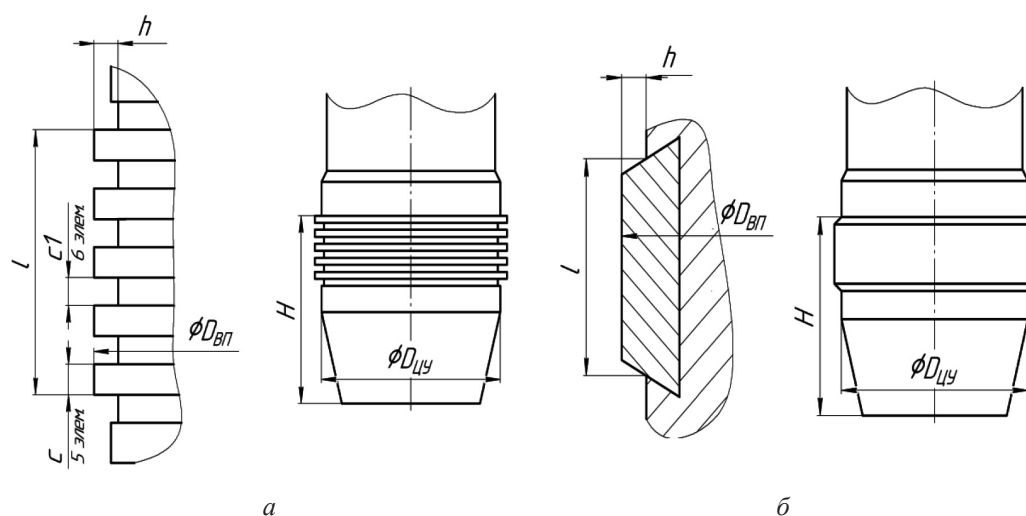


Рис. 1. Рассматриваемые в работе конструкции ведущих поясков: гребенчатый (а) и штатный (б): l — ширина ВП; H — расстояние от дна АС до передней кромки ВП; h — высота ВП; c — ширина гребня ГВП; c_1 — ширина канавки ГВП; $\phi D_{\text{ЦУ}}$ — диаметр центрирующего утолщения



Рис. 2. Блок-схема алгоритма исследования физических процессов, протекающих в ведущем пояске при выстреле

ресурсосбережения проведены исследования и эксперименты как в лабораторных условиях, так и на полигоне.

К их числу относятся экспериментальные исследования нагрузок при продавливании АС через ствол, прогиба корпуса АС в области ВП, механических свойств материала корпуса АС, температурное распределение в материале ВП при выстреле, износ канала ствола. По результатам исследований установлено, что предлагаемая геометрия ГВП к АС среднего калибра удовлетворяет требованиям, предъявляемым к штатным ВП [10].

Экспериментальные исследования работоспособности конструкции ГВП

В процессе проектирования конструкции ГВП одной из поставленных задач являлось соблюдение режима работы АС и КС, аналогичного штатным конструкциям ВП. С этой целью проведены исследования не только для таких конструкций ВП, как железокерамический (ЖК), медный и медно-никелевый (МН), но и для ГВП, который по своим характеристикам находился бы в пределах рабочих диапазонов значений для других вариантов ВП.

Одним из таких экспериментов является экспериментальное исследование нагрузок при продавливании снаряда через ствол. Исследование процесса пластического деформирования материала ГВП и определение усилия продавливания, P , кг, и усилия скручивания, Q , кг, проводились на отрезке канала ствола среднего калибра [6].

На рис. 3 представлены результаты экспериментов по продавливанию для ГВП, ЖК ВП и МН ВП. На основании полученных зависимостей $P(L)$ и $Q(L)$ определен максимальный диапазон усилий продавливания образцов со штатными ВП и разработан критерий работоспособности для предлагаемых ГВП, устанавливающий пределы значениям P : $P_{\text{ЖК}} \leq P_{\text{ГВП}} \leq P_{\text{МН}}$, где, по результатам экспериментов, $P_{\text{ЖК}} \approx 210$ кН для железокерамических ВП, $P_{\text{МН}} \approx 450$ кН для медно-никелевых ВП.

В процессе экспериментального нагружения сформированных боевых выступов ВП установлены следующие значения усилий скручивания: $Q_{\text{ЖК}} \approx 300$ кН для железокерамических ВП, $Q_{\text{ГВП}} \approx 400$ кН для ГВП, $Q_{\text{ш}} \approx 300$ кН для штатных ВП.

Для исследования деформаций корпуса АС в зоне нижнего центрирующего утолщения

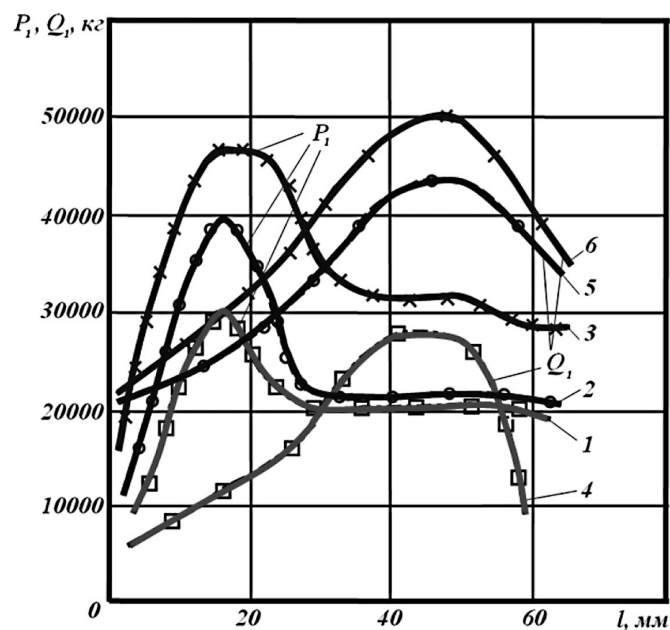


Рис. 3. Зависимость усилия продавливания P и усилия скручивания Q , в материале ВП от координаты по длине КС I: 1, 2, 3 — продавливание; 4, 5, 6 — скручивание; 1, 4 — ЖК; 2, 5 — ГВП; 3, 6 — МН

(НЦУ) ВП спроектирована и изготовлена специальная установка к гидравлическому прессу П-500 для локального кольцевого нагружения корпуса АС среднего калибра. Схема установки и результаты измерений с ее помощью приведены на рис. 4.

В ходе исследования механических свойств материала корпуса АС среднего калибра использовался подход, заключающийся в разделении корпуса на несколько характерных кольцевых сегментов, твердость которых в дальнейшем измерялась стандартными методами по всей

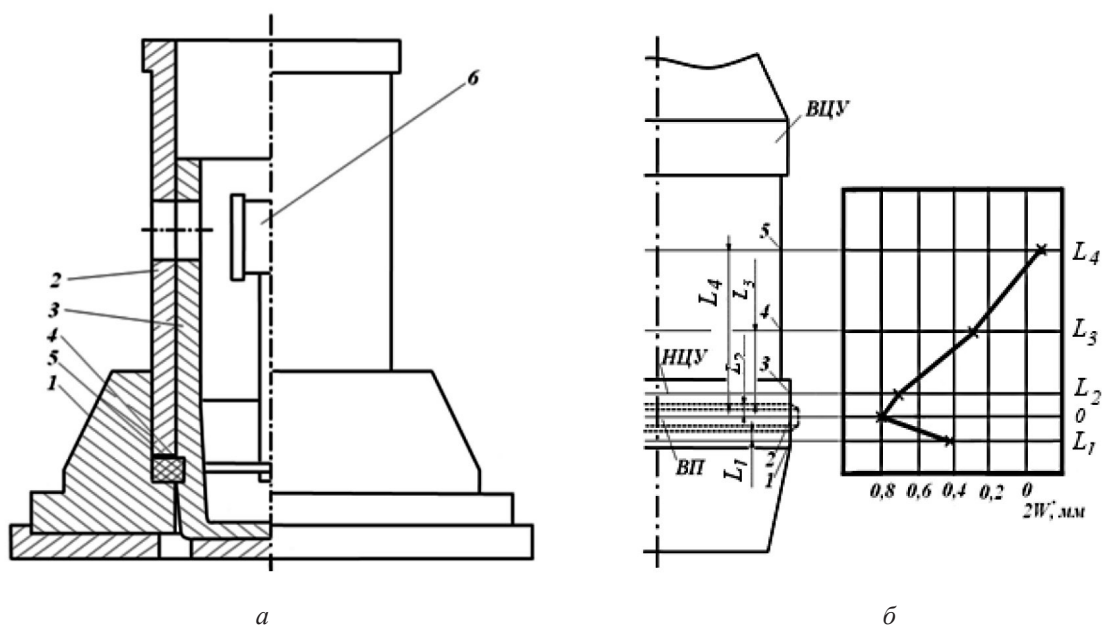


Рис. 4. Схема установки для локального кольцевого нагружения корпуса АС среднего калибра в зоне ВП (а) и результаты измерений с ее помощью (б): 1 — матрица; 2 — полый пуансон; 3 — исследуемый корпус; 4 — рабочий объем (цереин); 5 — свинцовые прокладки; 6 — индикаторный измеритель

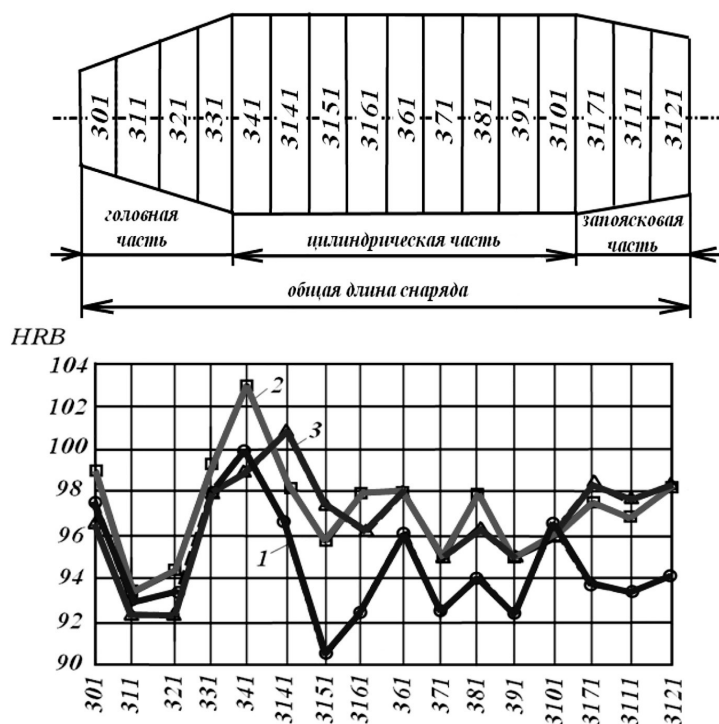


Рис. 5. Распределение твердости по длине в слоях корпуса АС:
1 — внутренний слой; 2 — средний слой; 3 — внешний слой

глубине стенки корпуса [7]. На рис. 5 представлены результаты измерений.

Установлено, что в оживальной части корпуса АС предел текучести материала корпуса стали С60 на 56 % выше, чем в запоясковой, и на 45 % выше, чем в цилиндрической. При этом изменение величины предела прочности материала корпуса по частям незначительно (около 5 %), а среднее значение твердости по всему корпусу изменяется в пределах от 93 до 100 единиц HRB.

В запоясковой части распределение твердости можно считать однородным, в отличие от головной и цилиндрической частей, в которых этот параметр неоднороден. По результатам исследования твердости корпуса АС можно сделать вывод, что область перехода цилиндрической части в запоясковую (минимальное рассеивание твердости как по длине, так и по толщине корпуса АС) является наилучшим вариантом расположения ВП, изготовленного из материала корпуса.

Указанное заключение подтверждается результатами оценки температурного распределения в ВП при выстреле, как показано на рис. 6. В ходе решения задачи теплопереноса в зоне

контакта «ВП-КС» [8] вычислены значения температуры на поверхности ВП и глубины прогрева материала как для штатного материала М1, так и для материала корпуса С60. Расчет проводился с учетом длины КС артиллерийских систем среднего калибра, а на графике зависимости указаны значения, соответствующие срезам КС таких систем, как М-30, Д-30 и Д-74.

На рис. 7 приведены результаты ресурсных испытаний по износу КС при выстреле АС среднего калибра. Показаны изменения среднего диаметра КС в зависимости от координаты по длине КС, а также от числа приведенных выстрелов. D_0 — значение, соответствующее калибру КС по чертежу.

По результатам испытаний сделаны следующие выводы. До настрела 4250,0 приведенных выстрелов (ПВ) прогибы корпусов остаются в пределах 0,03...0,32 мм, отпечатки полей нарезов правильной формы в пределах заданного поля допуска. Живучесть канала ствола при использовании АС с ГВП — 4648,4 ПВ, а судя по ресурсным испытаниям для АС с железокерамическим ВП и медно-никелевым ВП, ресурс КС — 5000 ПВ для АС с железокерамическими ВП, для АС с медным ВП — 2500 ПВ.

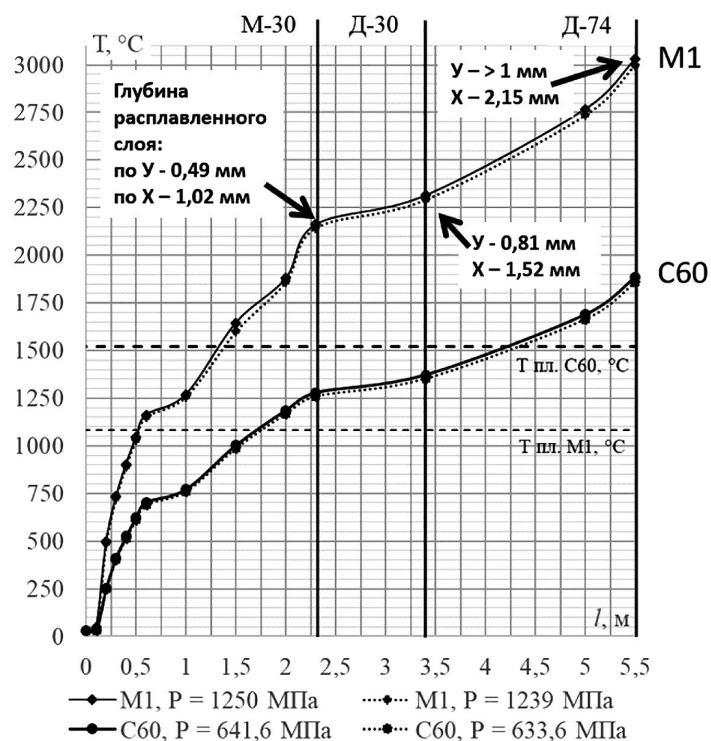


Рис. 6. Зависимость температуры на поверхности ВП T , от координаты l , в условиях полного контакта с КС

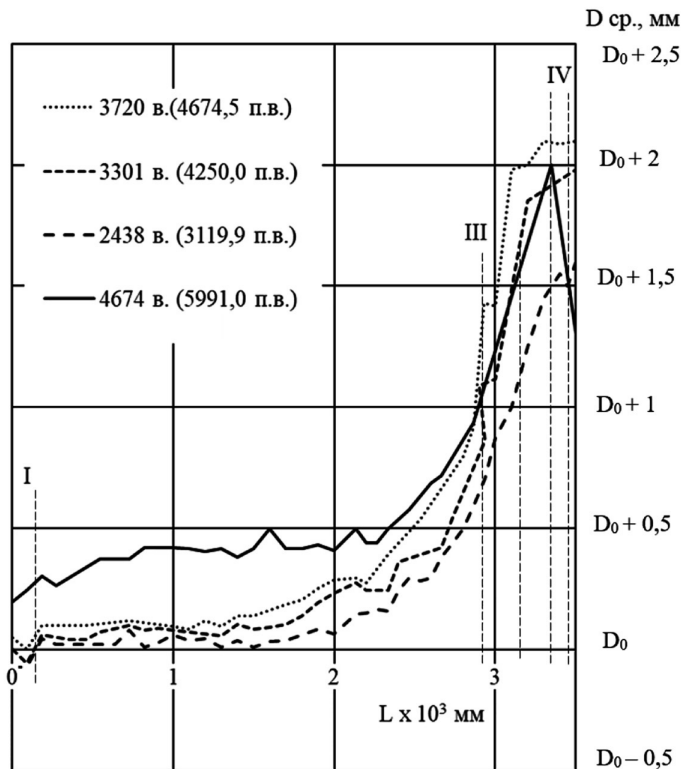


Рис. 7. Зависимость среднего диаметра КС $D_{\text{ср.}}$, от координаты по длине канала ствола L , при проведении ресурсных испытаний для АС среднего калибра

К основным особенностям износа КС при выстреле АС с ГВП относится несколько больший износ в сечениях 3150...3350 мм (скорее всего, следствие большего форсирования), но при этом несколько (на 0,2...0,3 мм) меньший износ основной части ствола. Кроме того, наблюдается практическая безызнаемость дульной части ствола на длине около 200 мм, сохраняющаяся до ~4000 ПВ, то есть, до потери правильной формы боевыми выступами.

Таким образом, проведенные экспериментальные и теоретические исследования работоспособности предлагаемой конструкции ГВП подтверждают ее состоятельность и условия работы, аналогичные штатным ВП [11].

Обоснование практических преимуществ конструкции ГВП

Для подтверждения технологичности рассматриваемой конструкции для АС среднего калибра проведено сравнение технологической себестоимости и штучного времени изготовления штатного медного ВП и предлагаемого ГВП. Получено, что материальные затраты на сырье при изготовлении корпуса АС с ГВП на 20 % меньше, чем при изготовлении АС со штатным ВП.

Конструкция предлагаемого ГВП предполагает, что в качестве заготовки для него на центрирующем утолщении (ЦУ) остается необработанный участок профиля корпуса АС, соответствующий наружному диаметру ВП. При изготовлении ГВП наружная поверхность сформированных кольцевых выступов обрабатывается аналогично штатному ВП.

Таким образом, время штучное по изготовлению гребенчатого ведущего пояска в 4 раза меньше, чем для штатного ВП. Так как в соответствии с [9] время изготовления АС составляет 40 минут, штатный ВП занимает 12,57 % от общего времени. При переходе к ГВП время изготовления АС — 36,22 минуты.

Если принять, что за смену на производстве изготавливается около 300 АС, переход к конструкции ГВП позволит увеличить производство на 31 единицу (до 331 АС).

На основе результатов полигонных испытаний АС среднего калибра с предлагаемыми ГВП проведен расчет боевой эффективности. При стрельбе по одиночной цели (танк) расход бое-

припасов уменьшается на 17,5...60 % для изношенного ствола, на 60...75 % для нового ствола. При стрельбе по групповой цели среднее число пораженных одиночных целей в составе группы также увеличивается: по танковой колонне из 20 единиц — на 1...6 % для изношенного ствола, на 1...10 % для нового ствола; по колонне из 20 БТР — на 2,8...9,6 % и 2,8...17 % соответственно; по взводу из 40 солдат — в 1,2...2 раза и 2,3...2,8 раз соответственно. При стрельбе по площадной цели размерами 1 Га расход АС для обеспечения ущерба $M_n \geq 0,99$ уменьшен следующим образом: для первого (стрельба под 45°) заряда — с 38 до 37 для изношенного ствола и до 32 для нового ствола, для третьего (стрельба под 70°) заряда — с 53 до 41 и 29 соответственно, для четвертого (стрельба под 70°) заряда — с 37 до 27 и 23 соответственно.

Также доказано повышение безопасности использования АС с ГВП для артиллерийского расчета. Для АС среднего калибра масса свинцового размеднителя — около 30 г. При выстреле вся масса размеднителя преобразуется в пары, которые и очищают КС. При этом свинец относится к 1 классу опасности (СанПиН 1.2.3685-21) и оказывает накапливающийся негативный эффект на человека, а предельно допустимая концентрация (ПДК) паров свинца в воздухе рабочей зоны — 0,05 мг/м³. Так как скорострельность орудия среднего калибра, например, гаубицы Д-30, составляет 8 выстр./мин, в зоне артиллерийского расчета ПДК превышает во много раз.

Выводы

Результаты исследований и сформированный комплекс методик оценки работоспособности ГВП показывают, что ресурсосберегающая конструкция ведущего пояска повышенной прочности, изготовленная из материала корпуса снаряда, обладает достойными внимания преимуществами по сравнению со штатным ВП. Кроме того, конструкция ГВП обеспечивает значительные перспективы по модернизации АС.

Регулируемая геометрия конструкции ГВП (ширина и высота гребня, ширина канавки, диаметр ВП) дает возможность учитывать износ КС и создавать партии АС для разных категорий стволов, тем самым повышая живучесть КС артиллерийских систем.

Отказ от формирования канавки типа «ласточкин хвост», по предварительным оценкам, позволяет увеличить объем каморы АС на 5–10 % с условием сохранения прочности донного стакана и полностью изменить конструкцию корпуса АС.

Также одним из существенных преимуществ АС с ГВП является повышение осколочности: так как в зоне донного центрирующего утолщения АС отсутствует концентратор напряжения (канавка типа «ласточкин хвост»), в формировании осколочного поля задействован больший объем материала по сравнению со штатной конструкцией АС.

Список источников

1. Бабкин А.В., Велданов В.А., Грязнов Е.Ф. и др. Средства поражения и боеприпасы: учебник; Под общ. ред. В.В. Селиванова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.
2. Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хмельников Е.А., Хребтова М.С. Исследование первичной реакции процесса врезания ведущего пояска нового типа при нагружении // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2021. № 3 (118). С. 130–137.
3. Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хребтова М.С. Вопрос о стабилизации давления форсирования при выстреле // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики – 2019. XI Всерос. молодеж. науч. конф., Томск, 18–20 нояб. 2019. Томск: Красное знамя, 2020. С. 199–203.
4. Гуськов А.В., Милевский К.Е., Петюков А.В., Хребтова М.С. Моделирование деформации ведущего пояска на стадии врезания // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 2 (118). С. 64–70.
5. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. и др. Экспериментально-теоретические исследования быстропротекающих процессов: монография; под ред. А.В. Гуськова. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. 262 с.
6. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
7. Ильюшин А.А., Пучков В.М. Прочность снарядов при выстреле. М.: Дом техники, 1957. 267 с.
8. Blok H. Theoretical study of temperature rise at surfaces of actual contact under oiliness lubricating conditions // Proc. Inst. Mech. Eng. 1937. No 2. Pp. 222–235.
9. Кучеров В.Г. Проектирование спецмашин/ Ч. 1, кн. 1. Артиллерийские стволы: учеб. для вузов; под ред. Закаменных Г.И., Кучерова В.Г., Червонцева С.Е. Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2017. 396 с.
10. Ефремов А.К., Соболев Н.С. Исследование процесса выстрела из артиллерийского орудия с учетом врезания ведущего пояска снаряда в нарезы // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана: электрон. журн. 2017. № 06. С. 13–28.
11. Потанин Е.Ю., Хребтова М.С., Милевский К.Е., Гуськов А.В. Оценка осколочности осколочно-фугасного боеприпаса при переходе к конструкции ведущего пояска нового типа / Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики – 2021 // Материалы XI Всерос. науч. конф.; под ред. М.Ю. Орлова. Томск, 2022. С. 340–343.