

УДК 623.4.014

С. Г. Селетков, доктор технических наук, профессор
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ УМЕНЬШЕНИЯ ИМПУЛЬСА ОТДАЧИ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

В статье автор анализирует группы эксплуатационных ограничений и условий, имеющих место при проектировании систем ствольного оружия.

Ключевые слова: ствольное оружие, импульс отдачи, эксплуатационные ограничения.

Эксплуатационные ограничения можно рассматривать, объединив их в следующие группы:

– связанные со степенью потребности в уменьшении действия импульса отдачи на лафет орудия;

– ограничения по массогабаритным характеристикам устройства, реализующего способ уменьшения действия импульса отдачи (УДИО), определяемые прочностными характеристиками используемых материалов и компоновочными связями устройства с орудием;

– связанные с энергообеспечением устройств УДИО;

– ограничения, обусловленные принципом работы и конструктивным решением устройства УДИО;

– ограничения по негативному воздействию УДИО на орудийный расчет, механизмы и устройства самого орудия, окружающую среду, маскировку, удобство обслуживания.

Первое из названных эксплуатационных ограничений имеет место при достижении устройствами УДИО оптимального значения по эффективности, дальнейшее повышение которого нецелесообразно, так как не ведет к дальнейшему снижению массогабаритных характеристик орудия. Так, в известной работе Ю. В. Чуева [1] относительно энергетической эффективности дульных тормозов, в частности, говорится, что «каким бы ни был дульным тормоз, вес орудия не может быть меньше веса ствола с затвором». Кроме ствола с затвором орудие имеет устройства для его перевозки, приспособления для придания стволу углов наводки, прицельны приспособления. По результатам исследования Ю. В. Чуев делает вывод, что пределом возможного уменьшения веса орудия является удвоенный вес ствола с затвором, что подтверждается весовыми характеристиками динамореактивных и безоткатных орудий, у которых достигается полное гашение импульса отдачи.

Ограничение по собственным габаритам и весу устройств, реализующих какой-либо способ УДИО, безусловно, лимитирует их эффективность. Особенностью установления ограничений по массе и габаритам является, что вес и габариты устройства могут быть найдены предварительно по рабочим чертежам устройств при известных напряжениях в элементах конструкции устройства и прочностных характеристиках используемого материала для его изготовления. Здесь уместно сделать замечание к расчету на

прочность наствольных узлов. Выстрел, как процесс сообщения пуле или снаряду значительной кинетической энергии в течение 0,005...0,1 с, является высокочастотным процессом с кратковременными пиками термодинамических параметров рабочего тела – порохового газа, действующего на метаемое тело, ствол и все наствольные устройства. Это требует тщательного выполнения расчетов на прочность для обеспечения безопасности обслуживающего персонала и работы самого орудия.

Выбору способа или комбинации способов по уменьшению действия импульса отдачи должен предшествовать анализ энергообеспечения способов. Для выстрелов с относительно малым значением отношения массы заряда ω к массе снаряда q трудно рассчитывать на эффективное гашение импульса отдачи за счет собственного заряда, что вызывает потребность в изыскании иных источников энергии и дополнительных приемов в повышении эффективности орудия без увеличения импульса отдачи.

Приближенно оценим величину энергии пороховых газов, образующихся при выстреле, которая может быть использована для гашения отдачи с помощью реактивной тяги. Для этого определим отношение энергии E_R откатных частей массой $M_{от}$, созданной реакцией газов, истекающих из канала ствола в направлении выстрела к потенциальной энергии пороха P . Импульс реакции газов определим из соотношения

$$J = \frac{k+1}{k} \int_0^{T_{\Pi}} G a^* z(\lambda) dt, \quad (1)$$

где G – расход газов из канала ствола. Допуская, что течение газа является критическим ($\lambda = 1$), за все время истечения газов, изменение величины критической скорости истечения определим по зависимостям для изоэнтропического потока в виде

$$a^* = a_0^* \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{\frac{k-1}{2}},$$

где ω_0 , ω – начальная и текущая масса заряда.

Тогда

$$J = \frac{k+1}{k} a_0^* \int_{\omega_0}^0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{\frac{k-1}{2}} d\omega = \frac{2}{k} a_0^* \omega_0.$$

Значение

$$a_0^* = \sqrt{\frac{2k}{k+1} f \left(1 - \frac{E_0}{\Pi} \right)},$$

где E_0 – начальная кинетическая энергия снаряда. Отсюда искомое отношение

$$\frac{E_R}{\Pi} = \frac{M_{от}^2 V^2}{2M_{от} \Pi} = \frac{J^2}{2M_{отT} \Pi} = \frac{(k-1) J^2}{2M_{от} f \omega_0}.$$

Или

$$\frac{E_R}{\Pi} = \frac{4(k-1)\omega_0}{k(k+1)M_{от}} \left(1 - \frac{E_0}{\Pi} \right). \quad (2)$$

У современного орудия классической схемы отношение $\omega_0/M_{от}$ находится в пределах 0,006...0,012, для динамореактивных орудий (ДРО) это же отношение достигает значений 0,05...0,07. Тогда из формулы (2) нетрудно установить, что доля энергии пороховых газов, которая может быть использована для создания импульса реактивной силы в орудиях классической схемы, составляет не более 1 %, а у ДРО – около 10 %. Однако указанные доли энергии практически не используются полностью вследствие потерь и эксплуатационных ограничений, накладываемых на характеристики способов УДИО.

Ограничение по возможной энергетической эффективности способа УДИО, заложенной в способ, можно показать на примере дульного устройства. Его энергетическая эффективность определяется по формуле

$$\Delta E = 1 - \eta_T \frac{V_{04T}^2}{V_{04}^2},$$

где V_{04T} , V_{04} – скорости свободного отката ствольной группы при наличии дульного устройства и без него; η_T – коэффициент увеличения массы ствольной группы на величину массы самого дульного устройства.

Величина ΔE зависит не только от конструктивной схемы дульного устройства, но и от баллистики системы, определяемой отношением $\beta\omega/q$. В меньшей степени от баллистики системы зависит импульсно-конструктивная характеристика (ИКХ) дульного устройства

$$\alpha = \frac{\beta_T}{\beta},$$

где β_T , β – коэффициенты полного действия газов на ствол при наличии дульного устройства и без него. Импульс отдачи с дульным устройством можно определить по известной формуле

$$J = (q + \alpha\beta\omega) V_D,$$

из которой следует, что для полного гашения отдачи ($J = 0$) необходимо выполнение условия

$$\beta \frac{\omega}{q} = -\frac{1}{\alpha}.$$

Отсюда следует, что достижение 100 % эффективности способа УДИО при практически возможном значении ИКХ $\alpha = -0,5$ и значительных скоростях снаряда ($\beta = 1$) величина отношения ω/q должна быть не менее двух, то есть масса заряда должна быть в два раза больше массы снаряда. В случае невыполнения этого условия полное гашение импульса отдачи принципиально невозможно из-за недостаточной энергоемкости источника.

Конструктивное решение устройства УДИО также играет не последнюю роль в его эффективности. Как отмечается в работе [2], воздействие на отдачу может осуществляться как непосредственным созданием контримпульса в системах: орудие – заряд – снаряд и орудие – заряд, так и косвенными способами в системах: снаряд – траектория и снаряд – мишень (цель). И любом случае требуется выполнить соответствующий анализ о энергетическом потенциале выбранного способа в его эффективности с учетом эксплуатационных ограничений.

Последнюю из рассматриваемых группу ограничений составляют факторы, негативно отражающиеся на эффективности ствольного комплекса. К таким факторам относятся: ударная волна и пламенность выстрела, задымленность позиции орудия после выстрела, влияние способа УДИО на рассеивание снарядов и пуль и некоторые другие, интенсивность которых растет с увеличением эффективности способа.

Наиболее значимым из перечисленных негативных факторов является ударная волна, сопровождающая выстрел из ствольного оружия. При этом известно, что воздействие, производимое дульной ударной волной на стрелка и орудие (ДУВ), не однозначно зависит от максимального избыточного давления. Значимость этого фактора при проектировании систем ствольного оружия, с одной стороны, и сложность физической картины образования и распространения ДУВ, с другой стороны, объясняет наличие важной научной проблемы и неоднозначность существующих методик расчета параметров ДУВ. В совокупности это требует разработки более точных методов их расчета и измерения, выдвигает необходимость обобщения значительного массива известных данных и результатов, полученных для систем различного калибра.

Использование надульных устройств существенно усложняет физическую картину течений пороховых газов и воздуха в околодульном пространстве вследствие изменения структуры потока в полости дульного тормоза, а именно: отвода части газов в боковом направлении, образование дополнительных скачков уплотнения и волн разряжения, а также мощных обратных скачков при отражении ударной волны от диафрагм камерного тормоза, образование торообразных вихрей, взаимодействующих со струей газов, истекающей из канала ствола и с системой скачков уплотнения.

Кроме приведенных газодинамических явлений выстрел из ствольного оружия сопровождается вспышкой, обусловленной значительными градиентами температуры в облаке воздушно-пороховой смеси, развивающемся в околодульном пространстве. Окисление несгоревших продуктов вызывает изменение химического состава и дополнительное выделение энергии, рост температуры и также оказывает свое влияние на все процессы, описанные ранее.

В заключение можно отметить, что рассмотренные эксплуатационные ограничения формируют некоторую область допустимых значений эффективности способов УДИО, в которой находится его оптимальное значение. Его поиск и нахождение является сложной научной проблемой, которая ждет своего системного решения и может ставиться, например, в процессе выполнения диссертационного исследования, элементы которого изложены, в частности, в работах [3–7].

Библиографические ссылки

1. Чуев Ю. В. Проектирование ствольных комплексов. – М. : Машиностроение, 1976. – 216 с.
2. Селетков С. Г., Иванова С. С. Классификация способов уменьшения действия импульса силы отдачи выстрела на носитель оружия // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 1 (28). – С. 39–41.
3. Иванов В. А., Ощепков Г. С., Селетков С. Г. Подготовка диссертаций в системе послевузовского профессионального образования : учеб. пособие. – Йошкар-Ола : Изд-во МарГТУ, 2000. – 195с.
4. Селетков С. Г. Потенциал качества личности и модель дидактики // Наука будущего: единое научное пространство как гарант гармоничного развития фундаментальных и прикладных научных исследований : сб. статей МНПК (1–2 июля 2014 г., г. Санкт-Петербург) – СПб. : КультИнформПресс, 2014. – С. 293–299.
5. Селетков С. Г. Классификация методов исследования в диссертации // Тенденции развития психологии и педагогики : сб. статей МНПК-ПП-20 (20 сентября 2014 г., г Уфа). – Уфа : Аэтерна, 2014. – С. 59–61.
6. Селетков С. Г. Итерационность достижения критерия – внутреннее единство результатов в диссертационной работе // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 1. – С. 172–174.
7. Селетков С. Г., Иванова С. С. О компетенциях диссертантов: магистров, кандидатов и докторов наук // Вестник ИжГТУ. – 2015. – № 1. – С. 139–140.

S. G. Seletkov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

Assessing the Impact of Operating Restrictions on the Effectiveness of Ways to Reduce the Recoil Momentum

The author analyzes the group of operating restrictions and conditions that occur when designing the barreled weapon systems.

Keywords: barreled weapon, recoil momentum, operating restrictions.

Получено: 15.09.16