

УДК 623.535

doi: 10.53816/23061456_2025_11–12_163

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ДУЛЬНЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ СТВОЛЬНОГО ОРУЖИЯ И МЕТОДОВ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

THE HISTORY OF MUZZLE GAS-DYNAMIC DEVICES AND METHODS OF THEIR DESIGN

M.A. Кауфман, д-р техн. наук С.В. Медвецкий

M.A. Kaufmann, D.Sc. S.V. Medvetskiy

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассмотрена история вопроса отдачи в пороховом оружии и подходов к его решению. Проведен обзор эволюции порохового оружия с момента его появления до настоящего времени. Проанализированы методы компенсации отдачи, применявшиеся для стрелкового и артиллерийского (пушечного) оружия в различные исторические этапы, вплоть до практически повсеместного внедрения дульных тормозов (ДТ) в современности. Рассмотрено возникновение и развитие методов расчета дульных газодинамических устройств (в частности – ДТ), а также обоснована их важность в истории становления порохового оружия и актуальность сегодня.

Ключевые слова: дульный тормоз, дульные газоотводные устройства, конструктивная характеристика, методика расчета, история, отдача.

The history of the issue of recoil in powder weapons and approaches to its solution is considered. An overview of the evolution of powder weapons from the moment of their appearance to the present has been conducted. The methods of recoil compensation used for small arms and artillery (cannon) weapons in various historical stages, up to the almost universal introduction of muzzle brakes in modern times, are analyzed. The article considers the emergence and development of methods for calculating muzzle gas dynamic devices (in particular, DT), and also substantiates their importance in the history of the development of powder weapons and their relevance today.

Keywords: muzzle brake, muzzle exhaust devices, design characteristics, calculation method, history, recoil.

Введение

В настоящее время практически все артиллерийские и стрелковые системы вооружения оснащены дульными газодинамическими устройствами (ДГУ). Это необходимо для обеспечения снижения до безопасных значений параметров отдачи, действующей при выстреле, соответственно, на конструкцию

артиллерийской системы или на стрелка. Кроме того, в последние годы в связи с развитием боевой робототехники и установкой на ней стрелковых и артиллерийских систем, важной задачей является адаптация оружия под подвижные носители. Избыточные параметры отдачи здесь вызывают нежелательные вибрационные нагрузки на носитель, ужесточают требования к его ТТХ, что влечет за собой раз-

работку более сложных систем управления и наведения оружия.

Поэтому разработка расчетных методик проектирования ДГУ является актуальной задачей. Однако, как показывает опыт развития техники, создание каких-либо новых систем и методов их расчета их всегда базируется на достигнутом уровне, являющимся высшей точкой исторического развития рассматриваемой области техники. В этой связи представляется полезным рассмотреть исторические аспекты создания ДГУ.

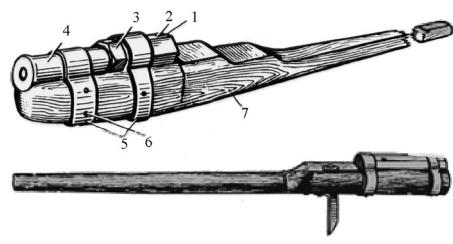
Появление и развитие ДГУ в контексте проблематики отдачи ствольного оружия

Самые первые прототипы ДГУ — дульных тормозов (ДТ) были разработаны еще в 19 веке и предназначались для компенсации отдачи крупнокалиберных пушек. Каких-либо теорий их проектирования в то время не существовало, поэтому их создание происходило опытным путем. Однако, принципиально эти ДТ не отличаются от современных. Они, как следует из названия, устанавливались на дульной части оружия. Основной же целью их использования являлось торможение оружия при отдаче.

Принцип действия ДТ заключался в полезном использовании энергии порохового газа, истекающего из канала ствола после вылета снаряда, что достигалось перенаправлением потока газов с образованием реактивной силы, которая компенсировала отдачу оружия, а в последствии и его откатных частей (рис. 1).

Первая научная публикация по этой тематике была выпущена только в 1923 году во Франции [1]. С этого момента по всему миру начинается активное развитие теорий, описывающих срабатывание дульных тормозов, продолжающихся совершенствоваться и по сей день. Предлагается краткое описание истории развития этого научного направления.

В прошлом компенсация отдачи таким путем требовалась не всегда и не всякому пороховому оружию. Безусловно, если речь идет о стрелковом оружии (то есть носимом, в прошлом оно же — «ручная артиллерия»), то потребность в снижении импульса отдачи появилась с появлением этого самого оружия (XIV век). Вот только удовлетворить ее тогда было нечем: технологии машиностроения в то время не позволяли обеспечить ни изготовление настолько сложной конструкции, ни надежное ее закрепле-



ние на дульной части оружия. К тому же, отдача таких ружей (аркебузы, пищали, рис. 2) была не столь сильной, а дульная скорость пули едва доходила до скорости звука (порядка 300 м/с) [2].

Ситуация усложнилась с появлением зерненого пороха. Повышенная скорость горения заряда обеспечила более высокие давления в заряжанном пространстве и позволила достичь более высоких дульных скоростей (400–500 м/с для мушкетов [3], рис. 3). Впрочем, по сравнению с современными образцами стрелкового оружия (830–950 м/с для автоматических и снайперских винтовок) это все еще очень небольшие скорости. Однако, даже в то время для обеспечения комфорта восприятия отдачи уже применяются специальные доспехи или кожаные подушки [4]. Вплоть до XX века при использовании стрелкового оружия этого было достаточно.

Тяжелее обстояла ситуация с пушечным оружием. В отличие от стрелковых систем, здесь конструкторы не были ограничены весом изделия, что позволяло значительно повышать дульную энергию снаряда путем прямого увеличения веса порохового заряда. Однако, это несло и негативные последствия: возросшая отдача зачастую сдвигала пушку еще до того, как ядро успевало покинуть канал ствола, что приводило к сбитию наводки. Также, конструкцию приходилось делать более массивной из соображений прочности.

За пушками приходилось насыпать земляные валы. С XIV века в конструкции пушек применяются лафеты [5]: специальные жесткие ложи, вкапываемые в землю и предотвращающие таким образом смещение оружия при выстреле. На какой-то период времени проблема была решена.

Но отрасль продолжала развиваться, и мощности пушек все росли. С появлением в XV веке зерненого пороха отдача возросла настолько, что лафетам перестало хватать конструкцион-

ной прочности и потребовались новые технические решения. Таковых было найдено сразу два, и, фактически, случайно. Пушки того времени изготавливались крайне массивными для сохранения прочности при выстреле, что затрудняло их транспортировку к месту боевых действий. Между тем выяснилось, что пушка — очень эффективное оружие против крепостей средневекового типа [6], которые на тот момент были повсеместно распространены и были слабо подвержены разрушению прочим видам оружия. Логичным решением стала перевозка относительно легких пушек с использованием конных повозок, на которые устанавливались специализированные лафеты [7]. Первоначально, по прибытии на место боевого столкновения пушка сгружалась с повозки и использовалась как обычно. Однако, вскоре выяснилось, что при стрельбе с подвижной платформы отдача уже не оказывает столь мощного воздействия на расчет. Так был открыт физический принцип «растягивания» импульса отдачи: одномоментное пиковое силовое воздействие заменилось на значительно менее мощное, но более протяженное во времени.

Таким образом, пушки стали монтировать на подвижных колесных платформах, двигающихся по прямой до вылета снаряда из канала ствола, а затем возвращаемых в исходное положение тем или иным образом. Впрочем, это техническое решение просуществовало недолго: смещение пушки при выстреле в любом случае негативно сказывалось на точности попадания, а действительно мощные пушки были слишком массивными для колес того времени.

Выяснилось, что, если надежно зафиксировать сам лафет, в который устанавливалась пушка для транспортировки, его деформация приведет к схожему эффекту: импульс отдачи окажется растянут во времени и пиковое усилие снизится. В развитие этих идей лафет стали устанавливать на салазки, а позже появились и более совершенные технические решения, использующие этот принцип. Он же используется и в современных противооткатных устройствах (ПОУ).

Но к XIX веку стали повсеместно распространены крепости нового типа, значительно более защищенные от пушечного оружия. Это привело к тому, что мощность пушек снова «переросла» имеющиеся технологии [7]. Пока научное сооб-

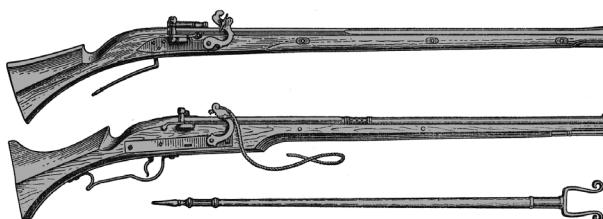


Рис. 3. Европейские фитильные мушкеты XVI–XVII вв [4]

щество занималось поиском более совершенных способов «растягивания» отдачи, впервые был предложен и более оригинальный способ решения этой проблемы: использование истекающих из дульного среза пушки пороховых газов.

В Российской империи дульный тормоз был впервые применен в 1862 году в трехпудовой пушке [8]: фактически, в стволе было просто просверлено 8 наклонных отверстий. Однако, в скором времени были разработаны более эффективные гидравлические ПОУ и ДТ утратили свою актуальность почти на полвека. Тем временем пушечное оружие начало приобретать характерные черты современной артиллерии.

Первая мировая война подстегнула развитие оружейной отрасли во всем мире, а с появлением в конце XIX века бездымных порохов мощность артиллерийских орудий вновь возросла, актуализируя заброшенную концепцию дульных устройств. Для промышленности того времени их изготовление уже не являлось неразрешимой задачей, по крайней мере для артиллерийских калибров. А по окончании войны наконец-то нашлось время и для науки: искать удачные конструктивные решения гораздо проще и дешевле путем расчета, нежели опыта.

Первопроходцем в области расчета эксплуатационных характеристик ДГУ принято считать французского ученого А. Рато (A. Rateau) [9]. В 1923 году в французском журнале «Mémorial de l'artillerie française» он публикует статью [1], где обобщает наиболее актуальные исследования в области расчета внутренней баллистики орудия и предлагает методику определения тянувшего усилия, создаваемого ДГУ. В 1928 году его идеи получают развитие в работе итальянского ученого Э. Равелли (E. Ravelli) «О теории дульного тормоза» [10]. Полученная методика получила широкое распространение и с большим интересом рассматривалась учеными со всего мира [9, 11]. В 1932 году Л. Габо (L. Gabeaud) предлагает свой, в некоторых аспектах более совершенный подход к решению этой проблемы [12].

Советское научное сообщество на тот момент только начинало формироваться, обобщая наиболее современные научные концепции и предлагая свои. И, хотя до разработки первой полностью самостоятельной методики расчета ДГУ было еще далеко, в 1939 году М.М. Сергеевым закладываются фундаментальные основы

этого научного направления в СССР. Он переводит на русский язык работы А. Рато, Л. Габо, Е. Равелли, а также нескольких других ученых, и обобщает научное знание того времени в работе [11].

Вторая мировая война не располагала к дальнейшему развитию существующих научных концепций, тем более что для своего времени они показывали вполне удовлетворительную эффективность. Применение ДТ становится повсеместным и фактически обязательным для многих видов оружия. Промышленность наконец-то позволяет производить ДТ и для стрелкового оружия, которое становится нарезным и казнозарядным. Зачастую начинают применяться механизмы автоматики: в 1936 году на вооружение СССР впервые в мире принимается самозарядная винтовка со штатным дульным тормозом конструкции С.Г. Симонова — АВС-36. Примененные в ней концепции развивает Ф. В. Токарев в винтовке СВТ-38 (позднее доработана и переименована в СВТ-40, рис. 4). Дульный тормоз в самозарядном, (а вскоре и в автоматическом, стрелковом оружии оказывается настолько удачным решением, что в дальнейшем им начинают комплектовать все больше и больше образцов (АВТ, ППШ, ППС, ППД...)).

В 1950 году М.А. Мамонтов предлагает новую методику расчета ДГУ, формируя принципы революционной концепции термодинамики тела переменной массы [13], которая в дальнейшем найдет применение в огромном спектре задач, связанных с открытыми термодинамическими системами. Саму теорию он окончательно формулирует в 1961 году [14], а в 1953 году выходит фундаментальная работа Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица [15], которая заложила основы для развития вычислительной газодинамики, нашедшей свое применение для широкого спектра



Рис. 4. Советские снайперские винтовки, сверху вниз: ABC-35, CBT-38, CBT-40 [4]

прикладных газодинамических задач, включая задачу расчета ДТ.

Б.В. Орлов в 1973 году проводит масштабное обобщение всех существующих на тот момент научных концепций для описания работы и расчетов порохового оружия: как артиллерийского, так и стрелкового. В том числе он формирует свою собственную методику расчета ДГУ [16] и впервые формулирует понятие конструктивной (конструктивно-импульсной) характеристики (КХ) дульного тормоза.

Здесь стоит оговориться, что конструктивная характеристика как параметр фигурировала и в более ранних работах. Однако, Б.В. Орлов впервые предлагает использовать ее для оценки эффективности ДТ, акцентируя внимание на ее независимости от параметров состояния потока — фактически, КХ является функцией только геометрии ДТ. Таким образом она показывает, насколько эффективно ДТ будет выполнять свою функцию вне зависимости от каких бы то ни было эксплуатационных условий. Таким образом становится возможным, например, легко верифицировать методику расчета: насколько точно вычислена характеристика — настолько точна методика. При этом экспериментально определить КХ не составляет никакой сложности.

С развитием вычислительной техники потребность в разработке новых методик расчета ДГУ снижается: методика Орлова пригодна для всех классифицированных в 1973 году конструкций ДГУ, при этом развитие стрелкового и артиллерийского порохового оружия не испытывает никаких революций и, фактически упирается в свой технологический предел. А с использованием газодинамических методов можно рассчитывать на ЭВМ любые ДГУ [17–19].

Сегодня технологический предел для стрелкового оружия значительно сдвинулся относительно 1973 года. Стало возможным производить хоть и, в общем-то, не новые принципиально, но все же значительно более совершенные образцы. В XX веке не было возможности снизить массу крупнокалиберной снайперской винтовки настолько, чтобы встал вопрос о слишком высокой скорости свободной отдачи. Сегодня это — данность. В вооруженных конфликтах все чаще успешно работают, так называемые, тяжелые снайперы, вооруженные крупнокалиберным снайперским оружием, параметры отдачи кото-

рого являются весьма значительными. Поэтому применение более эффективных ДГУ, снижающих параметры отдачи является важной задачей. Однако, бесконечно повышать эффективность ДГУ невозможно — возникающая ударная волна может повредить органы слуха стреляющего, а облако пыли от воздействия истекающих из ДГУ пороховых газов значительно увеличивает демаскирующие действие выстрела. Одним из путей решения этой проблемы может стать применение нестандартных конструкций ДГУ.

Установка же комплексов стрелковых систем (КСС) на роботизированные мобильные платформы — вообще принципиально новый способ их применения, для которого не существует готовых рецептов. Специализированные ДГУ также могут значительно повысить эффективность такой боевой единицы.

Хотя вычислительная газодинамика и является фактически универсальным методом расчета, использовать ее для определения КХ зачастую избыточно. Такой расчет чрезвычайно сложен и долг в подготовке, а также чувствителен к качеству этой подготовки. При этом точность получаемых результатов как правило тем выше, чем дальше идет расчет, причем требуемое для хотя бы достаточной точности время расчета зачастую слишком велико.

В 2016 году Ю.П. Платонов предлагает расширенную и дополненную с учетом современной специфики, а также научных достижений методику расчета ДГУ [20]. Она основана на методике Б.В. Орлова, но показывает повышенную точность за счет использования продвинутого математического аппарата, который задействует в том числе и результаты, полученные с помощью методов вычислительной газодинамики. К тому же она применима к значительно более широкой номенклатуре устройств и учитывает особенности конструкций, которыми ранее пренебрегали.

В 2021 году китайский ученый Вонг Жен (Wang Zhen) предложил собственные улучшения методики Б.В. Орлова [21], а также провел ее сравнение с численным моделированием в ANSYS Fluent. По итогам сравнения автор заключает, что оба подхода показали схожую эффективность.

Таким образом, хотя расчет ДТ и является достаточно узким и специфическим научным

направлением, но это никак не умаляет его важности. С задачей расчета ДТ напрямую связано появление термодинамики переменной массы, а изыскания в этом направлении проводили многие знаменитые ученые со всего мира. Актуальность этого направления сегодня также не подлежит сомнению.

Выводы

Рассмотрены дульные газодинамические устройства в контексте проблематики отдачи стрелкового и артиллерийского оружия. Проведен краткий исторический обзор этой проблематики с момента появления ствольного оружия как такового, вплоть до современности.

Показаны исторические аспекты развития методик расчета ДГУ и отмечена актуальность данного научного направления сегодня.

Список источников

1. Rateau A., Theorie des freins de bouche: «Mémorial de l'artillerie française». T. XI, 1932. Fasc. 1. Pp. 5–34.
2. Guilmartin J.F. The weapons of sixteenth century warfare at sea // Gunpowder and galleys: changing technology and Mediterranean warfare at sea in the sixteenth century. Rev. ed. United States Naval Institute, 2003. Pp. 295–303.
3. Miller D.P. Ballistics of 17th Century Muskets. Master's thesis. Cranfield University, Cranfield, UK, 2010. Pp. 27–46.
4. Маркевич В.Е. Ручное огнестрельное оружие. Изд. 2-е. СПб.: Полигон, 2005. 491 с. С. 28, 31, 396, 397.
5. Самардак В.А. Артиллерия. История развития. М.: Милитера, 2020. С. 18.
6. Контамин Ф. Война в Средние века; пер. с фр. Ю.П. Малинина, А.Ю. Каракинского, М.Ю. Некрасова; под ред. Ю.П. Малинина. СПб.: Ювента, 2001. 120 с.
7. Хогг Оливер. История артиллерии. Вооружение. Тактика. Крупнейшие сражения. Начало XIV века – начало XX. М.: Центрполиграф, 2014. С. 50–51. С. 97.
8. Основания устройства и конструкция орудий и боеприпасов наземной артиллерии; под ред. Соколова И.А. М.: Воениздат, 1976. 236 с.
9. Schwager O. The Muzzle Break: Anti-aircraft Journal (The coast artillery journal), United States Coast Artillery Association., 1945. T. 88. Pp. 32–36.
10. Ravelli E. Studio per la teoria del freno di bocca: Rivista di Artiglieria e Genio, 1928.
11. Сергеев М.М. Теория и расчет дульного тормоза. М.: Гос. изд-во оборон. пром-сти, 1939. С. 16–61.
12. Gabeaud L. Sur la theory des freins de tir: «Mémorial de l'artillerie française», T. XI, 1932. fasc. 1. Pp. 35–85.
13. Мамонтов М.А. Некоторые случаи течения газа по трубам, насадкам и проточным судам. М.: Гос. изд-во оборон. пром-сти, 1951. С. 282–381.
14. Мамонтов М.А. Вопросы термодинамики тела переменной массы. М.: Оборонгиз, 1961. 56 с.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. М.: ГТТИ, 1953. 788 с.
16. Орлов Б.В., Топчев Ю.И., Устинов В.Ф., Алферов В.В. Проектирование ракетных и ствольных систем: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1974. С. 188–298.
17. Харлоу Ф. Численный метод частиц в ячейках для задач гидродинамики // Вычислительные методы в гидродинамике. М.: Мир, 1967. 460 с.
18. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: В 2-х томах: Т. 2; пер. с англ. М.: Мир, 1992. 552 с.
19. Парфенов А.Ю. Численное моделирование динамики внутрикамерных процессов при срабатывании артиллерийского орудия: диссер. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Пермь: ПНИПУ, 2014. С. 16.
20. Платонов Ю.П. Термогазодинамика автоматического оружия. М.: Машиностроение, 2009. 356 с. С. 228–271.
21. Wang Zhen. Flow Field Simulation and Efficiency Calculation of Muzzle Brake Based on ANSYS Fluent: E3S Web of Conferences. 2021. No 261. Pp. 2–3.

References

1. Rateau A., Theorie des freins de bouche: «Mémorial de l'artillerie française». T. XI, 1932. Fasc. 1. Pp. 5–34.

2. Guilmartin J.F., The weapons of sixteenth century warfare at sea // Gunpowder and galleys: changing technology and Mediterranean warfare at sea in the sixteenth century. Rev. ed. United States Naval Institute, 2003. Pp. 295–303.
3. Miller D.P., Ballistics of 17th Century Muskets. Master's thesis. Cranfield University, Cranfield, UK, 2010. Pp. 27–46.
4. Markevich V.E., Hand-held firearms. Poligon St. Petersburg, 2005, 491 p. P. 28, 31, 396, 397.
5. Samardak V.A. The history of artillery evolution. Moscow: Militera, 2020. P. 18.
6. Contamine P. War in the Middle Ages; transl. from French by Yu.P. Malinin, A.Y. Karachinsky, M.Y. Nekrasov; ed. by Yu.P. Malinin. St. Petersburg: Juventus, 2001. 120 p.
7. Hogg O. The history of artillery. Weapons. Tactics. Main conflicts. Early XIV – early XX. Moscow: Tsentrpoligraph, 2014. Pp. 50–51, p. 97.
8. Sokolov I. Basics of field artillery and armament design and functionality. Moscow: Voenizdat, 1976. 236 p.
9. Schwager O. The Muzzle Break: Anti-aircraft Journal (The coast artillery journal), United States Coast Artillery Association, 1945, T. 88. Pp. 32–36.
10. Ravelli E. Studio per la teoria del freno di bocca: Rivista di Artiglieria e Genio, 1928.
11. Sergeev M.M. The muzzle break theory and calculation. Moscow: Oborogiz, 1939. Pp 16–61.
12. Gabeaud L. Sur la theory des freins de tir: «Mémorial de l'artillerie française», T XI, 1932. fasc. 1. Pp. 35–85.
13. Mamontov M.A., Some cases of gas flow through pipes, nozzles and flow-through vessels. Moscow: Oborogiz, 1951. Pp. 282–381.
14. Mamontov M.A. Variable mass thermodynamics. Moscow: Oborogiz, 1961. 56 p.
15. Landau L.D., Lifshits M.E. Continuum mechanics. Moscow: GTTI, 1953. 788 p.
16. Orlov B.V., Topcheev Yu.I., Ustinov V.F., Alferov V.V. Design of Rocket and Barrel Systems. Moscow: Mashinostroenie, 1974. Pp. 188–298.
17. Harlow F. Numerical method of particles in cells for problems of hydrodynamics // Computational methods in hydrodynamics. Moscow: Mir, 1967. 460 p.
18. Fletcher C., Computational Techniques for Fluid Dynamics. Vol. 2. Moscow: Mir, 1992. 552 p.
19. Parfenov A.Yu. Numerical simulation of the firing artillery gun intrachamber processes. Candidate of Technical Sciences thesis, PNIPU, Perm', 2014. 16 p.
20. Platonov Yu. P. Thermogas Dynamics of Automatic Weapon. Moscow: Mashinostroenie, 2009. 356 p. Pp. 228–271.
21. Wang Zhen. Flow Field Simulation and Efficiency Calculation of Muzzle Brake Based on ANSYS Fluent: E3S Web of Conferences. 2021. No 261. Pp. 2–3.