

**ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ
БЕССТРЕЛЬБОВЫХ МЕТОДОВ ПРИВЕДЕНИЯ К НОРМАЛЬНОМУ БОЮ
ТАНКОВЫХ ПУШЕК КАК ЗАДАЧА СИСТЕМНОЙ КООРДИНАЦИИ**

**IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFECTIVENESS
OF FIRING-FREE METHODS OF BRINGING OF TANK GUNS
TO A NORMAL FIGHT, AS A PROBLEM OF SYSTEM COORDINATION**

А.С. Афанасьев¹, Ю.Л. Вященко¹, академик РАН К.М. Иванов¹, чл.-корр. РАН А.Г. Тарнаев²

¹ БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, ² АО «Завод № 9»

A.S. Afanasyev, Yu.L. Vyaschenko, K.M. Ivanov, A.G. Tarnaev

Рассмотрены физические и статистические закономерности в информационной среде тактико-технических характеристик (ТТХ) и факторов, их определяющих, при обеспечении требуемой точности стрельбы танковых пушек. Раскрыты связи ТТХ, как системных показателей, с разнообразием и многомерностью погрешностей при стрельбе из танка. Обоснована целесообразность бесстрельбовых методов оценки точности стрельбы образца танкового артиллерийского орудия.

Ключевые слова: танковое орудие, точность стрельбы, ошибки стрельбы, бесстрельбовые методы.

Physical and statistical patterns in the information environment of tactical and technical characteristics (TTC) and their determining factors are considered, while ensuring the required accuracy of firing tank guns. The connections of TTC, as system indicators, with the variety and multidimensionality of errors when firing from a tank are revealed. The expediency of firing-free methods for evaluating the accuracy of firing from a sample of a tank artillery gun is substantiated.

Keywords: tank gun, shooting accuracy, shooting errors, firing-free methods.

Введение

Информационно-системное управление рисками в направлении точности стрельбы предполагает анализ факторов конструктивного, технологического и эксплуатационного характера, вызывающих погрешности, влияющие на точность стрельбы, и, соответственно, выработку способов уменьшения их влияния, тем самым минимизируя риски. Одновременно точность стрельбы может рассматриваться как параметрическая надежность в формате выполнения требований к системным параметрам $СП_j \in [СП_j] \gamma_j$. При этом представления физических и статистических

закономерностей в информационной среде тактико-технических характеристик и факторов, их определяющих, обуславливают физические основания управления рисками, связанными с точностью стрельбы, в процессах разработки образцов танкового вооружения (ОТВ).

**Особенности организации
информационного процесса разработки ОТВ
в параллельных потоках проектирования**

Цикличность процесса создания ОТВ и изменения, связанные с переходом с одного проектного этапа на другой, обуславливают введение

информационной системы координат ИСК_j, привязанной к каждому проектному циклу и характеризующейся оператором L_j , моделью проектного решения МПР_j и метрикой в виде информационного критерия адекватности η_j . При этом информационный коэффициент адекватности характеризует степень приближения j -го этапа разработки ОТВ к объекту анализа, разработка которого полностью завершена [1]: $0 \leq \eta_j \leq 1, j = \overline{1, S}$ ($\eta_j = 1$ — значение информационного коэффициента адекватности на завершающем этапе разработки ОТВ).

Создание ОТВ происходит по параллельным «потокам» проектирования. К этим потокам относятся: проектирование ОТВ и его компонентов, проектирование технологии производства и монтажа, проектирование процесса эксплуатации. Информационные коэффициенты адекватности η_j отслеживают системную координацию исходных данных, алгоритмов, процедур принятия решений, результатов смежных j -го и $(j+1)$ -го этапов жизненного цикла ОТВ в каждом из параллельных «потоков» проектирования и, следовательно, позволяют оценивать эффективность проектных, технологических, организационных и логистических решений.

В свою очередь, информационные связи между параллельными «потоками» проектирования, их этапами и стадиями характеризуются информационным показателем воспроизводимости V_j ($0 \leq V_j \leq 1$) и информационным показателем логистичности W_j ($0 \leq W_j \leq 1$) [1, 2].

В информационных системах координат ИСК_j операторы L_j и информационные критерии адекватности η_j учитывают особенности состояния и организации информационного процесса разработки ОТВ в характерных точках перехода (контрольных точках) в каждом из параллельных потоков проектирования. Здесь контролируется выполнение условий перехода с этапа на этап, связанное с проверкой выполнения требований СП_{ij} \in [СП_{ij}] $\gamma_{ij}, i = \overline{1, n}$, и перестраиваются процессы в том отношении, что осуществ-

ляется переход к очередному уровню генерирования и использования описания (представления), создаваемого, изготавливаемого и эксплуатируемого ОТВ с соответствующим перестроением информационной базы, алгоритмики, системы принятия решений и т.п.

Формализуя информационно-системные свойства процесса создания ОТВ как циклического информационного процесса, его можно, согласно [1], представить в виде последовательной цепи (рис. 1).

На рис. 1 изображены:

L_j — системный оператор (инструментарий) j -го этапа разработки (стадии разработки) ОТВ;

МПР_j — результат j -го этапа разработки: модель проектного решения j -го этапа, понимаемая в широком смысле;

$I_{\text{вх}j}$ и $I_{\text{вх}(j+1)}$ — синтаксическая входная информация на входе j -го и $(j+1)$ -го проектного элемента, обеспечивающая принятие технических решений, отвечающих требованиям ТТЗ по всей номенклатуре заданных системных показателей ОТВ, в том числе подтверждения соответствующих точности и достоверности оценок;

$I_{\text{вх}}^{(j-1)}$ — информация о системных показателях, полученная на $(j-1)$ -м этапе разработки, ценная (полезная) с точки зрения использования ее в качестве априорной информации при оценке точности и достоверности достигнутого уровня СП на j -м этапе (j -й стадии) разработки;

$I_{\text{вых}}, I_{\text{вых}(j+1)}$ — выходная информация о системных показателях, полученная на j -м и $(j+1)$ -м проектных этапах, взвешенная по полезности, если ее рассматривать в «координатах» ИСК j -го и $(j+1)$ -го проектных циклов;

$I_{\text{вх}}^{(j+1)}$ — информация о системных показателях, полученная на j -м этапе разработки, ценная (полезная) с точки зрения ее использования в качестве априорной информации при оценке точности и достоверности достигнутого уровня СП на $(j+1)$ -м этапе разработки;

η_j — информационный критерий адекватности, выполняющий роль метрики соответствующей

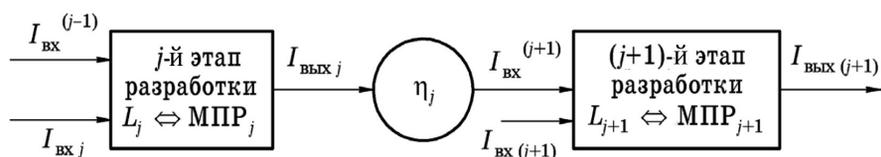


Рис. 1. Схема сопряжения последовательных циклов информационного процесса разработки ОТВ

щей ИСК_{*j*} и одновременно показатель, корректирующий выходную информацию *j*-го этапа $I_{\text{вых}j}$ в априорную информацию $I_{\text{вх}}^{(j+1)}$, входную по отношению к (*j* + 1)-му проектному этапу.

Схема сопряжения последовательных циклов информационного процесса разработки ОТВ и все объекты этой схемы (L_j , МПР_{*j*}, $I_{\text{вх}j}$, $I_{\text{вх}(j+1)}$, $I_{\text{вх}}^{(j-1)}$, $I_{\text{вых}j}$, $I_{\text{вых}(j+1)}$, $I_{\text{вх}}^{(j+1)}$, η_j) характеризуют информационную структуру процессов каждого из параллельных потоков проектирования.

При этом характеристиками информационного процесса разработки изделия, определяющими рациональную организацию управления процессом, являются его стоимостные C_j и временные T_j показатели, минимизации которых необходимо добиваться. Для сокращения затрат, достигаемого не в ущерб точности подтверждения полученного уровня системных показателей, целесообразно привлекать дополнительную априорную информацию. В качестве таковой могут быть использованы результаты анализа достигнутого уровня и соответствующей степени достоверности оценки системных показателей изделия, как полученные на предшествующих этапах проектирования, так и имеющие отношение к танковым пушкам, являющимся образцами и прототипами разрабатываемого ОТВ.

Следует отметить, что операторная модель L_j и модель принятия решения МПР_{*j*} *j*-го этапа разработки ОТВ в отношении выполнения требований ТТЗ по точности стрельбы танковой пушки (ТП), как и в отношении любой другой системной характеристики $\text{СП}_{ij} \in [\text{СП}_{ij}] \gamma_{ij}$, представляют собой практикуемые ряды моделей, методов, алгоритмов, проектных технологий и практик. Согласно с этому, исходная информация $I_{\text{вх}}^{(j-1)}$ и $I_{\text{вх}j}$ представляет собой вектора, отражающие параметрическую многомерность и разноплановость со своей иерархией и взаимообусловленностью.

Так, суммарная ошибка стрельбы формируется в результате совместного влияния множества факторов. Погрешности выстрела определяются составом и структурой комплекса вооружения, техническими характеристиками пушек, боеприпасов и систем управления огнем (СУО), условиями и способами стрельбы, подготовленностью экипажа и напряженностью его работы в танке.

Сказанное подтверждается анализом погрешностей стрельбы комплекса артиллерийского вооружения танка в плане уточнения их уровня и выбора возможных направлений работ по уменьшению погрешностей для обеспечения выполнения требований ТТЗ по точности стрельбы [3–6].

Представления физических и статистических закономерностей в информационной среде тактико-технических характеристик и факторов, их определяющих, обуславливают полноту раскрытия связей ТТХ и системных показателей образцов ОТВ и обеспечивают подготовку исходных данных для задачи динамического анализа системы «выстрел–пушка» в статистической постановке как задачи параметрической надежности и управления рисками.

Полный состав факторов, определяющих суммарную ошибку стрельбы, значимых с точки зрения организации стрельбы и расчета исходных установок, а также факторов, контролируемых при организации стрельбы, с необходимыми уточнениями рассмотрен в [3–6].

Анализ учитываемых групп погрешностей показывает, что повышение точности стрельбы за счет совершенствования комплекса «пушка–выстрел» возможно при уменьшении погрешностей в группах прицеливания и рассеивания снарядов. В группе погрешностей прицеливания наиболее значимой является погрешность определения индивидуального угла вылета (ИУВ).

В соответствии с ГОСТ В 20133–84, угол вылета артиллерийского снаряда — это угол между вектором начальной скорости артиллерийского снаряда и касательной к действительной оси канала ствола в дульной его части после наводки орудия в цель. Индивидуальный угол вылета — это среднее значение вектора начальной скорости снаряда, присущее конкретному стволу и определяемое влиянием постоянных параметров пушки (прямолинейность канала ствола, плечо динамической пары, силы и моменты противоткатных устройств).

Знание параметров и процесса формирования углов вылета позволяет наметить пути улучшения кучности и повышения точности определения ИУВ. При этом значимой является процедура приведения к нормальному бою (ПНБ) танковых пушек.

Так, на Заводе № 9 практикуют оправдавшую себя, апробированную технологию бесстрельбового анализа точности стрельбы с определением ИУВ и реализацией процедуры ПНБ разрабатываемых ОТВ в системной координации как с актуальной, так и с априорной информацией.

Повышение эффективности бесстрельбовых методов ПНБ танковых пушек

Приведение к нормальному бою танковых пушек Д-81 осуществлялось по единой методике, предусматривавшей проведение ПНБ стрельбой на каждой изготовленной пушке, что характеризовалось повышенной затратностью средств.

Вместе с тем анализ результатов стрельб из танковых пушек 2А46М (2А46М-1) позволил установить наличие тесной корреляционной зависимости между индивидуальными углами вылета бронебойных подкалиберных снарядов (БПС) и геометрическими параметрами (дульным углом) ствола, который является одной из характеристик кривизны канала ствола и применяется в качестве основного контролируемого и сдаточного параметра при производстве стволов.

Указанная зависимость аппроксимирована линейной функцией вида $\gamma = \alpha\Theta + \beta$, где Θ — величина дульного угла; α и β — коэффициенты зависимости для расчета углов вылета.

Данная зависимость была заложена в бесстрельбовый метод ПНБ танковых пушек 2А46М, разработанный и внедренный на заводах промышленности в рамках НИР «Точность-85».

В поиске возможности повысить эффективность этапов испытаний и сдачи изготовленных ТП значимым оказалось использование для определения ИУВ в бесстрельбовых методах ПНБ танковых пушек расчетных зависимостей, которые устанавливают связь ИУВ с геометрией канала ствола, проявляющуюся при движении БПС в канале ствола. Соответствующая зависимость имеет вид

$$\text{ИУВ} = a + \sum_{i=1}^n K_i \cdot Y_i,$$

где a и K_i — статистические коэффициенты зависимости для расчета ИУВ; Y_i — величина отклонения от прямолинейности оси направляющей части канала в i -м сечении; n — количество сечений по направляющей части канала ствола.

Для определения статистических коэффициентов зависимостей конкретной ТП необходимы следующие данные:

1) предоставляемые разработчиком боеприпасов:

- баллистические характеристики;
- геометрические параметры снаряда;
- инерционно-массовые характеристики;

2) по трубам (стволом):

- геометрические параметры канала ствола;
- результаты стрельб группы ТП (стволов);
- фактические данные ИУВ.

На этапе испытаний опытной ТП по результатам стрельб определяют расчетным путем значения a и K_i коэффициентов зависимостей для расчета ИУВ, которые в дальнейшем используются для расчетного определения ИУВ для каждой ТП с последующей выборочной (1 из 10 ТП) стрельбовой проверкой ИУВ. При невыполнении критерия точности пристрелки габарита меткости $K = 0,4$ мрад. Проводят дополнительные стрельбовые испытания ТП (вторая группа) и определяют усредненный ИУВ для конкретной ТП.

Бесстрельбовые методы ПНБ позволили устранить следующие недостатки стрельбового метода пристрелки:

– необходимость наличия специально оборудованного полигона (стрельбового тира);

– высокая стоимость;

– ограничение по точности, так как методическая погрешность стрельбы обусловлена действием целого ряда трудно контролируемых факторов, исключить влияние которых часто невозможно.

Результаты внедрения бесстрельбовых методов на заводах промышленности подтвердили их эффективность в части уменьшения погрешности пристрелки до уровня $E_{\text{пр}} = 0,07$ мрад (срединное отклонение) по сравнению с $E_{\text{пр}} = 0,13$ мрад для стрельбового метода в соответствии с проведенной в НИР «Точность-85» оценкой.

Вместе с тем на жизнеспособность бесстрельбовых методов оказывают влияние объективные процессы развития танкового вооружения.

Так, процесс развития и создания новых выстрелов с БПС повышенного могущества к ТП типа 2А46М сопровождался изменением конструкции снаряда и схемы его ведения

в канале ствола, увеличением массы и относительного удлинения корпуса снаряда (рис. 2) [7]. Эти изменения привели к изменению баллистических характеристик и ИУВ и, соответственно, к отличию углов прицеливания от их значений, заложенных в прицельном комплексе танка.

Для БПС с передней опорно-центрирующей базой на ведущее устройство (ВУ) и задней на калиберном оперении характерны высокие ударные нагрузки на снаряд в начале его движения, связанные с входением стабилизатора в заходной конус каморы с «перекосом» и с его высокой скоростью.

Ударные нагрузки вызывают интенсивные поперечные колебания снаряда и могут приводить к деформации оперения стабилизатора и даже к его разрушению.

Конструкция ВУ с бугелями и катушечного типа позволяет исключить ударное взаимодействие стабилизатора с заходным конусом (подкалиберное оперение), но, поскольку бугеля находятся в камере, также возможны ударные нагрузки, инициирующие поперечные колебания корпуса снаряда, но с меньшей интенсивностью.

В рамках НИР был проведен большой объем теоретических и экспериментальных работ с БПС нового поколения с «прижимными» ВУ ЗБМ26.

Проведенный анализ показал, что решение проблемы уменьшения разброса углов вылета от пушки к пушке только за счет одного элемента комплекса (ствола или снаряда) практически невозможно.

В результате проведенного анализа установлено, что наиболее целесообразным является одновременное проведение комплекса организационно-технических мероприятий при разработке ТП, направленных на совершенствование технологии изготовления ствольных труб, и создание конструкции малочувствительного к кривизне канала ствола БПС.

Совершенствование технологии изготовления ствольных труб должно обеспечивать снижение возмущающего воздействия кривизны ствола на снаряд.

Совершенствование конструкции БПС должно быть направлено на снижение его чувствительности к технологической непрямолинейности оси канала и, тем самым, к уменьшению зависимости угла вылета снаряда от кривизны ствола.

Применительно к танковым пушкам типа 2А46М была разработана методика бесстрельбового определения ИУВ для БПС, по которой ИУВ определяется на основании измерений отклонений от прямолинейности оси направляющей части канала изготавливаемых ствольных труб специальными приборами с последующим расчетом и учетом углов вылета всех входящих в боекомплект выстрелов в системе управления огнем (СУО) танка.

Методика поддержана разработанными заводом № 9 моделями и алгоритмами программ по определению частотных характеристик системы «пушка–выстрел», по выяснению влияния конструктивных и технологических параметров пушки на погрешности стрельбы и по определению

БПС с ВУ «разжимного» типа (ЗБМ15, ЗБМ22) с передней опорно-центрирующей базой на ВУ, задней на калиберном оперении. «Разжимные» ВУ (сектора) – БПС у которых ВУ при движении по каналу ствола под действием спутной струи пороховых газов прижимаются к стенкам канала ствола.

БПС с ВУ «прижимного» типа (рюмка) (ЗБМ26, ЗБМ32, ЗБМ42) с передней опорно-центрирующей базой на ВУ, задней на калиберном оперении. «Прижимные» ВУ (сектора) – БПС у которых ВУ (сектора) при движении по каналу ствола под действием спутной струи пороховых газов прижимаются к корпусу БПС.

БПС с ВУ «прижимного» типа (рюмка) с бугелями (пилонами) (ЗБМ48, ЗБМ40) с обеими базами на ВУ с подкалиберным оперением.

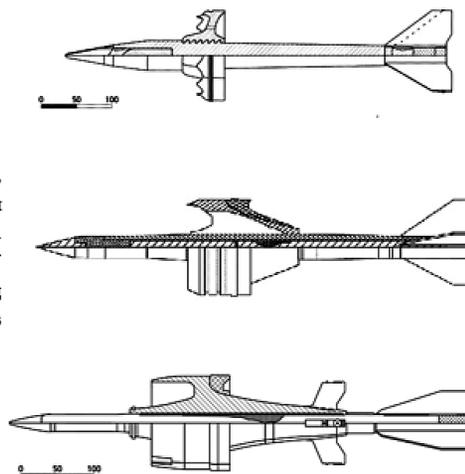


Рис. 2. БПС повышенного могущества к ТП типа 2А46М

влияния параметров системы «пушка–выстрел», в том числе прямолинейности оси канала ствола, на формирование углов вылета.

В предлагаемой методике поправки на угол прицеливания дают более точные результаты при учете влияния непрямолинейности по сравнению с определенными по существующей инструкции на пристрелку. Не требуются испытания большого количества стволов для определения коэффициентов a и K_i эмпирических зависимостей, как это требуется для расчета ИУВ по существующей инструкции.

В то же время при серийном изготовлении, для подтверждения достоверности определения ИУВ предлагаемым бесстрельбовым методом, также проводится выборочная проверка стрельбой применительно к перспективным образцам танковых пушек.

Заключение

Успешное решение задач управления рисками в потоках проектирования, требующее раскрытия связей ТТХ и системных показателей образца танково-артиллерийского вооружения с разнообразием и многомерностью погрешностей при стрельбе из танка, определяется тем, с какой полнотой и с какой требуемой мерой адекватности η_j могут быть представлены физические и статистические закономерности в информационной среде тактико-технических характеристик и факторов, их определяющих, в отношении параметров моделей проектных решений МПР_{*j*} на всех *j*-х этапах жизненного цикла образца танково-артиллерийского вооружения.

Литература

1. Вященко Ю.Л., Афанасьев А.С., Иванов К.М. и др. Системная инженерия, риски, надежность в разработке и производстве изделий военного назначения. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2018. 572 с.
2. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Игнатенко В.В. Информационно-системные принципы проектирования, эффективность, надежность, риски изделий стрелково-пушечного, артиллерийского и ракетного оружия. Старый Оскол: ТНТ, 2020. 376 с.
3. Лукьянов В.Н., Егоров В.В. Разработка и испытания танкового вооружения. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2022. 144 с.
4. Иванов К.М., Гарнаев А.Г. и др. Системная координация управления рисками образца артиллерийского вооружения в потоках проектирования // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 1 (126). С. 73–77.
5. Труханов В.М., Гарнаев А.Г., Кухтик М.П. Надежность артиллерийских систем; [под ред. В.М. Труханова]. М.: Издательский дом «Спектр», 2020. 309 с.
6. Гинзбург Б.И., Агошков О.Г., Ледовский А.Д. Методы оценки точности стрельбы артиллерийских комплексов вооружения. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2012. 200 с.
7. Куприянов В.М., Платонов А.А., Бебин А.А. и др. Анализ конструктивных особенностей ведущего устройства бронебойных подкалиберных снарядов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 2 (97). С. 67–70.