

УДК: 623.463.3; 623.416.6; 623.4.01

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_105

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ДАЛЬНОСТИ СТРЕЛЬБЫ ОРУДИЙ ТИПА «ГИАЦИНТ» ЗА СЧЕТ НОВОГО АКТИВНО-РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА **CONCERNING THE RANGE EXTENSION FOR ‘GIATSINT’-TYPE GUNS BY MEANS OF A NEW ROCKET-ASSISTED PROJECTILE**

По представлению академика РАРАН В.М. Кашина

В.Д. Баскаков, В.Т. Калугин, Л.А. Розанов, Н.И. Сидняев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

V.D. Baskakov, V.T. Kalugin, L.A. Rozanov, N.I. Sidnyaev

Представлены результаты расчетно-теоретической оценки увеличения максимальной дальности стрельбы орудий типа 2А36, 2А37 за счет нового активно-реактивного снаряда. Новый снаряд оснащен так называемой моноблочной комбинированной двигательной установкой, обеспечивающей за счет использования в рабочем процессе атмосферного воздуха повышенные тягово-экономические характеристики по сравнению с традиционными решениями в области снарядных двигательных установок.

Ключевые слова: увеличение дальности стрельбы, модернизация артиллерии, активно-реактивный снаряд, моноблочная комбинированная двигательная установка.

Presented are the results of theoretical and computational estimate of firing range extension for 2A36, 2A37-type guns by means of a new rocket-assisted projectile. The new projectile is fitted with a so-called single-block integral propulsion system, which has improved thrust and specific impulse compared to traditional projectile propulsion systems due to the use of atmospheric air in its workflow.

Keywords: firing range extension, artillery upgrade, rocket-assisted projectile, single-block integral propulsion system.

Введение

В современном мире имеет место переход недружественных вооруженных формирований на использование оружия со все возрастающим уровнем тактико-технических характеристик. Существуют многочисленные прецеденты, когда артиллерия используется в целях, которые можно охарактеризовать как террористические — для нанесения ударов по невоенным объектам ради устрашения мирного населения и дестабилизации обстановки. Одним из проверенных методов пресечения таких действий является контрбатареинная борьба, которая требует прие-

мущества в максимальной дальности стрельбы над противником [1–4].

В области ствольных артиллерийских систем в нашей стране наблюдается отставание по максимальной дальности стрельбы от стран блока НАТО и их союзников. В частности, для 155-мм систем PzH2000, FH77, K9 и ANS Krab заявлена максимальная дальность стрельбы в 40 км и выше. По этой характеристике они превосходят отечественные арткомплексы калибра 152 мм, за исключением 2С35 «Коалиция-СВ» с максимальной дальностью стрельбы неуправляемым снарядом в 40...50 км. Однако 2С35 является новой системой, и ее освоение в серийном

производстве в количестве, достаточном для нивелирования отставания отечественной артиллерии, может занять определенное время, тогда как это отставание должно быть ликвидировано как можно скорее.

В связи с этим требуется обратить внимание на существующие в нашей стране дальнобойные арткомплексы, созданные еще в XX веке и имеющиеся в составе Вооруженных сил в сравнительно большом количестве. Это комплексы 2С5 «Гиацинт-С» с орудием 2А37 и 2С7 «Пион» с орудием 2А44. При оценке их возможностей предполагается, что для эффективного противостояния зарубежной артиллерии они должны обладать максимальной дальностью стрельбы не менее 45 км. В такой постановке задачи 2С5 с дальностью стрельбы 33,5 км существенно уступает современным иностранным системам. С другой стороны, 2С7 с дальностью стрельбы 47,5 км превосходит большинство существующих систем калибра 152/155 мм. Однако 2С7 — система более крупного калибра (203 мм), что влечет за собой отставание от 155-мм арткомплексов по мобильности, темпу стрельбы и логистическому обеспечению. К тому же орудий 2А44 было выпущено существенно меньше чем орудий 2А37, которые также существуют в буксируемом исполнении с индексом 2А36 «Гиацинт-Б».

Внесение изменений в артиллерийскую часть комплекса 2С5 в обеспечение максимальной дальности стрельбы свыше 45 км является сложной научно-технической задачей, сравнимой по материально-временным затратам с созданием нового арткомплекса. Вследствие этого актуальной задачей является оценка возможности повышения дальности стрельбы орудия с баллистикой, приближенной к 2С5, за счет нового активно-реактивного снаряда (АРС).

Основная часть

Предлагается использовать снаряд с так называемой моноблочной комбинированной двигательной установкой (МКДУ) на твердом топливе (ТТ). Такие двигательные установки используют в рабочем процессе атмосферный воздух в качестве источника дополнительного окислителя и рабочего тела, что обеспечивает использование энергоемких составов ТТ, обогащенных горючим. Эта принципиальная особенность позволя-

ет МКДУ в ряде случаев реализовать удельный импульс выше, чем у традиционно применяемых на АРС ракетных двигателей, и использовать единственный бортовой источник рабочего тела — отсюда термин «моноблочная». По сравнению с комбинированными двигательными установками АРС типа «ракетный двигатель + донный газогенератор» МКДУ позволяет достичь заданной дальности стрельбы при меньшей массе ТТ, что, в свою очередь, дает возможность повысить массу разрывного заряда (РЗ).

Ранее проведенные исследования показали, что для орудий с высокой баллистикой калибра 152 мм с точки зрения максимальной дальности стрельбы рациональной является конструктивная схема АРС с МКДУ, описанная в патенте Российской Федерации № 2751311 [5]. В этой схеме камера для дожигания продуктов первичного сгорания (ППС) ТТ, поступающих из газогенератора, имеет вид донной выемки («юбки») снаряда. За счет частичного дожигания ППС ТТ в ней повышается давление на дно снаряда. В сочетании с реакцией газогенераторных струй этот эффект позволит частично компенсировать аэродинамическое сопротивление снаряда на активном участке траектории. При этом сопротивление на пассивном участке сравнительно невысоко за счет отсутствия каких-либо выступающих частей, например, воздухозаборника — что немаловажно именно для снаряда с МКДУ.

На основании имеющегося опыта по методическому обеспечению проектирования снарядов с такой МКДУ [6] была сформирована более подробная методика проектирования, блок-схема которой представлена на рис. 1.

Методика опирается на математическую модель АРС, осуществляющего полет с учетом действия МКДУ, представляющую собой доработанный вариант модели, представленной в [7]. Ранее проведенное сравнение результатов моделирования с данными стрельбовых испытаний прототипа показало удовлетворительную сходимость результатов. Информация об аэродинамических характеристиках снаряда с работающей МКДУ и о ее тягово-экономических характеристиках получается путем численного моделирования в программном комплексе ANSYS CFX. Для снижения затрат машинного времени при рассмотрении различных вариантов АРС новой схемы автором ранее предложено аппроксимировать

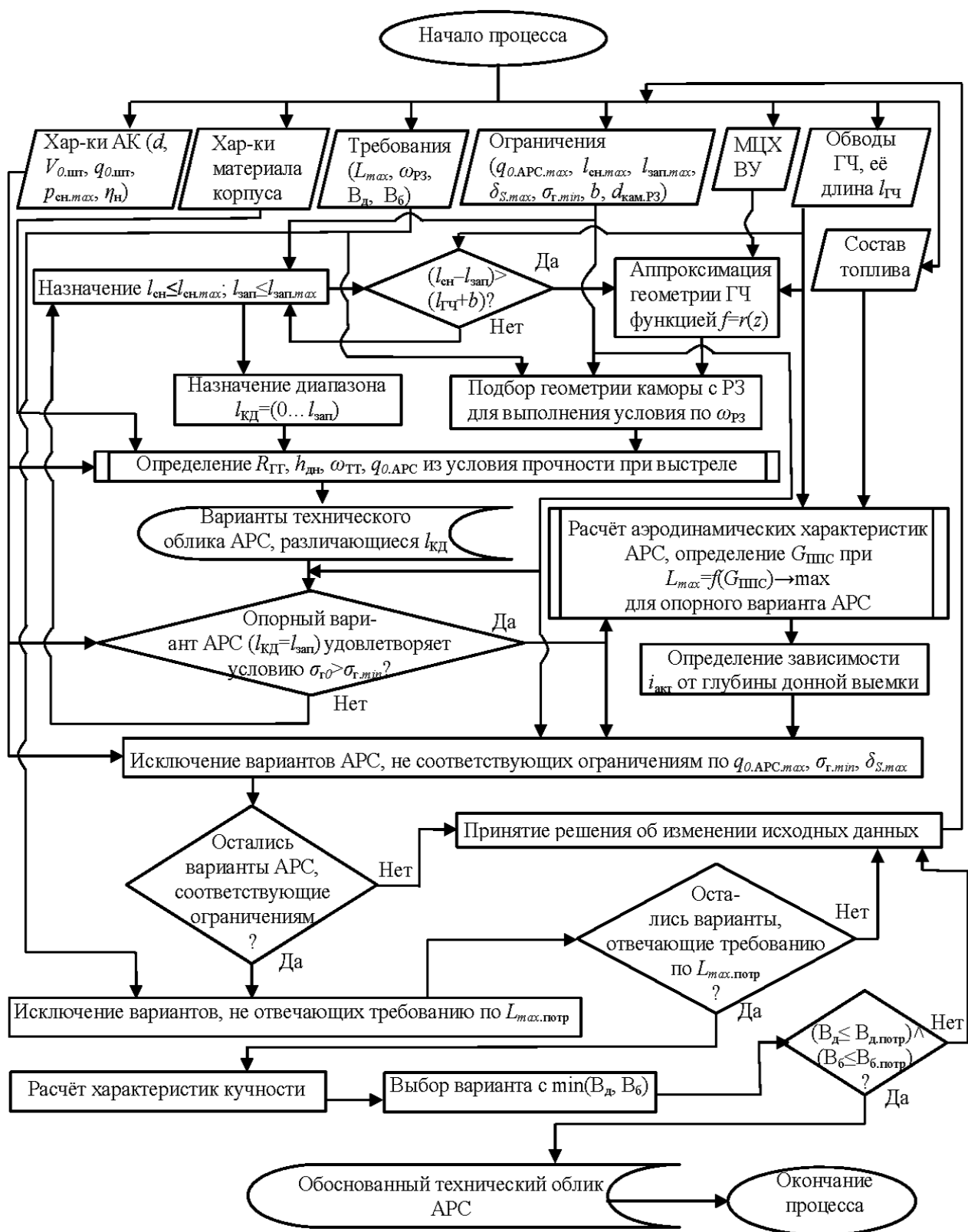


Рис. 1. Блок-схема методики проектирования АРС с МКДУ, реализующего частичное дожигание в донной выемке

коэффициент формы APC с работающей МКДУ $i_{\text{акт}}$ полиномиальной зависимостью от числа Маха полета $M_{\text{п}}$ и удлинения камеры дожигания (КД) $\lambda_{\text{КД}}$, в роли которой на данной схеме APC выступает донная выемка. Аппроксимация проводится по результатам серии численных экспериментов в ANSYS CFX для заранее заданных значений $M_{\text{п}}$ и $\lambda_{\text{КД}}$. Необходимо отметить, что $\lambda_{\text{КД}}$ является основным параметром, характеризующим МКДУ нового снаряда.

При проектировании дальнобойного APC ставится задача найти такие параметры снаряда, при которых он достигнет заданной максимальной дальности стрельбы при н.у. L_{max} , обладая РЗ заданной массы $\omega_{\text{РЗ}}$. Кроме того, необходимо выполнение требований по характеристикам рассеивания $B_{\text{д}}$ и $B_{\text{б}}$ (круговое вероятное отклонение точек попадания по дальности и по боку соответственно).

Задаются следующие исходные данные:

- характеристики арткомплекса — калибр d , начальная скорость штатного снаряда $V_{0,\text{шт}}$, масса штатного снаряда $q_{0,\text{шт}}$, максимальное давление на дно штатного снаряда при выстреле $p_{\text{сн,max}}$, крутизна нарезки $\eta_{\text{н}}$;
- ограничения на технический облик APC — максимальная стартовая масса APC $q_{0,\text{APC,max}}$, максимальная длина снаряда $l_{\text{сн,max}}$, максимальная длина запясковой части $l_{\text{зап,max}}$, диаметр каморы под РЗ $d_{\text{кам,РЗ}}$, длина ведущего пояса b , минимальное допустимое значение коэффициента гироскопической устойчивости $\sigma_{\text{г,min}}$, максимальное допустимое значение угла нутации в вершине траектории $\delta_{\text{с,max}}$;
- масса, моменты инерции и длина взрывателя;
- обводы головной части и ее длина $l_{\text{ГЧ}}$;
- механические характеристики материала корпусных деталей;
- состав топлива.

Прочностные расчеты, расчет гироскопической устойчивости и определение начальной скорости APC из условия сохранения давления в канале ствола на уровне, соответствующем стрельбе штатным снарядом, проводились согласно положениям, изложенным в [8]. Угол нутации в вершине траектории определялся по результатам математического моделирования. Расчет характеристик рассеивания проводился по «методу 3», описанному в [9].

В рамках настоящей работы характеристики арткомплекса, подобного 2С5, заданы следующими: $d = 0,1524$ м; $V_{0,\text{шт}} = 945$ м/с; $q_{0,\text{шт}} = 46,0$ кг; $p_{\text{сн,max}} = 4 \cdot 10^8$ Па; $\eta_{\text{н}} = 25$.

Ограничения на технический облик APC заданы следующими: $q_{0,\text{APC,max}} = q_{0,\text{шт}}$; $l_{\text{сн,max}} = 5,7d$; $l_{\text{зап,max}} = 1,1d$; $d_{\text{кам,РЗ}} = 0,72d$; $b = 0,3d$; $\sigma_{\text{г,min}} = 0,7$; $\delta_{\text{с,max}} = 10^\circ$.

Обводы головной части и характеристики взрывателя заданы ориентировочно приближенными к современным дальнобойным снарядам, оснащенным многофункциональными взрывательными устройствами. Длина головной части составляет $l_{\text{ГЧ}} = 3,53d$. В ней размещается РЗ массой $\omega_{\text{РЗ}} = 0,105q_{0,\text{шт}}$. Заряд такой массы с плотностью наполнителя 1700 кг/м³ занимает только головную часть заданной длины, оставляя цилиндрическую часть снаряда под размещение МКДУ.

В целях оценки «предела возможностей» APC новой схемы на артсистемах типа 2С5, для корпусных деталей МКДУ задан материал с высокими механическими характеристиками, соответствующими стали типа 30ХН2МФА после закалки и отпуска. Учитывалось динамическое упрочнение материала при импульсных нагрузках (выстрел из ствола орудия) с коэффициентом $K_{\text{г}} = 1,05$. Допускалось, что материал может работать за пределами зоны упругих деформаций при удовлетворении условиям прочности по напряжениям и деформациям для корпуса газогенератора и заряда ТТ.

В качестве топлива задан состав, использовавшийся в предшествующих работах по обоснованию рациональной конструктивной схемы APC с МКДУ. Для него ранее было определено значение секундного расхода ППС ТТ $G_{\text{ППС}}$, соответствующее максимуму зависимости $L_{\text{max}} = f(G_{\text{ППС}})$ — рис. 2. Это же значение использовалось как номинальное в настоящей работе. На рисунке $L_{\text{расч}}$ — отношение расчетной максимальной дальности стрельбы по матмодели к потребной при обосновании конструктивной схемы APC, $G_{\text{ППС}}$ — отношение расхода ППС ТТ к максимально возможному для данного топливного состава значению.

В предложенной методике, предполагается, что заранее известно потребное значение L_{max} , при недостижении которого вариант технического облика APC исключается из рассмотрения.

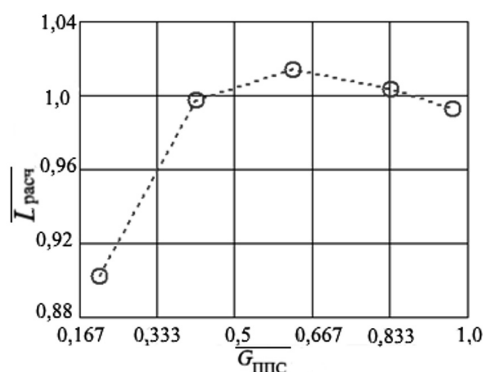


Рис. 2. Характерный вид зависимости относительной расчетной дальности стрельбы АРС $L_{\text{расч}}$ рассматриваемой конструктивной схемы от относительного расхода ППС $G_{\text{ппс}}$

В настоящей работе это условие дополнительно для оценки возможностей по повышению дальности 2С5: принято, что рациональным является вариант с наибольшей L_{max} , при этом должно выполняться условие $L_{\text{max}} \geq 45,0$ км. Характеристики рассеивания должны быть не хуже, чем у зарубежного дальнобойного снаряда V-LAP: $B_d / L_{\text{max}} \leq 1/167$, $B_6 \leq 66,3$ м [10]. В таблице представлены характеристики вариантов АРС с МКДУ для систем типа 2С5, полученных в результате применения методики. При составлении перечня вариантов время включения МКДУ на траектории принималось равным $t_{\text{вкл}} = 0$ с, то есть запуск непосредственно после покидания снарядом канала ствола.

Опорным вариантом технического облика нового АРС, согласно методике, является вариант № 1 с наиболее длинной КД. Он по определению обладает наибольшей гироскопической устойчивостью ввиду наиболее глубокой донной выемки и, следовательно, наиболее благоприятного для гироскопической стабилизации соотношения моментов инерции. После формирования опорного

варианта проводится поэтапное уменьшение $\lambda_{\text{кд}}$ за счет увеличения $\omega_{\text{тг}}$ и, следовательно, увеличения массы топливного заряда. Процесс формирования вариантов прекращается, когда будет нарушено условие гироскопической устойчивости на старте, условие правильности полета или ограничение на $q_{0,\text{АРС}}$. В настоящей работе вариант № 6 с длиной КД, равной 0,5 длины запоясковой части снаряда, уже не удовлетворяет требованию по гироскопической устойчивости.

Наибольшей L_{max} из полученного набора технических обликов АРС обладает вариант № 3. Необходимо отметить, что по результатам прочностных расчетов у вариантов № 1...3 заряд ТТ размещается полностью в цилиндрической части корпуса снаряда, а у вариантов № 4...6 он частично занимает объем внутри запоясковой части. Воздействие на стенку газогенератора пороховых газов при этом требует утолщения стенки, с чем связан рост $q_{0,\text{АРС}}$ и снижение $V_{0,\text{АРС}}$ вариантов № 4...6 по сравнению с вариантом № 3. Этим обусловлено снижение их максимальной дальности полета даже при росте массы топливного заряда относительно варианта № 3.

Применяемая на новом снаряде МКДУ использует в рабочем процессе атмосферный воздух, таким образом, ее тягово-экономические характеристики связаны с величиной скоростного напора. Как было отмечено ранее [6], коэффициент формы АРС с работающей МКДУ тем ниже, чем выше число Маха полета. Это связано с тем, что воздух в КД, имеющую вид донной выемки, попадает за счет вихревого течения позади снаряда. Поэтому, в отличие от образцов с ракетным двигателем на ТТ, зависимость $L_{\text{max}} = f(t_{\text{вкл}})$ у снаряда с МКДУ рассматриваемой схемы не имеет максимума, а является убывающей.

На основании этого сделан вывод о том, что для нового АРС величина $t_{\text{вкл}}$ должна назначаться

Таблица

Характеристики вариантов технического облика АРС с МКДУ для артсистем типа 2С5

№ п/п	Длина КД в долях $l_{\text{зап}}$	L_{max} , км	$\omega_{\text{тг}}$, кг	$\sigma_{\text{г.0}}$	δ_s , °	$q_{0,\text{АРС}}$, кг	$V_{0,\text{АРС}}$, м/с	$\lambda_{\text{кд}}$
1	1	46,93	1,37	0,75	9,587	37,16	1046	1,230
2	0,9	47,55	1,59	0,739	8,897	37,90	1036	1,104
3	0,8	48,03	1,81	0,726	8,175	38,70	1025	0,975
4	0,7	47,20	1,88	0,717	7,588	40,23	1005	0,850
5	0,6	47,58	2,08	0,702	6,984	41,05	995	0,730
6	0,5	47,28	2,19	0,689	6,482	42,30	980	0,607

исходя из условия затухания стартовых колебаний снаряда к моменту включения МКДУ. Поскольку, ввиду многофакторности колебательного процесса, это время сложно поддается расчетной оценке, предложено назначить твкл максимально допустимым при выполнении условий по $L_{\max}$, B_d и B_6 .

Расчет характеристик рассеивания для вариантов № 2...4 показал, что при $t_{\text{вкл}} = 1,0$ с различия в их характеристиках кучности и потерях по дальности полета пренебрежимо малы, и вариант № 3 остается наиболее дальнобойным с $L_{\max} = 47,07$ км, $B_d / L_{\max} = 1/170$ и $B_6 \approx 47$ м. При $t_{\text{вкл}} = 2,0$ с новый снаряд проигрывает V-LAP по $B_d / L_{\max}$: 1/160 против 1/167. Таким образом, время задержки запуска МКДУ для нового снаряда должно составлять не более 1 с. Вопрос о затухании колебаний снаряда к этому моменту должен углубленно рассматриваться отдельно.

Выводы

В результате выполнения настоящей работы получен положительный вывод о возможности ликвидации отставания отечественной 152-мм артсистемы 2С5 от современных 155-мм зарубежных артсистем по дальности стрельбы. За счет применения нового снаряда с МКДУ, согласно расчетам, максимальная дальность стрельбы орудий типа 2А36, 2А37 возросла на 42,2...45,1 % в зависимости от времени задержки включения МКДУ, максимально допустимое значение которого также было определено в настоящей работе. Оно обеспечивает расчетные значения кругового вероятного отклонения по дальности и по боку на уровне зарубежного дальнобойного снаряда V-LAP, при этом новый снаряд с МКДУ обладает на ~12 % большей массой РЗ.

Литература

1. Добрунов М. В ДНР заметили переход ВСУ на самую дальнобойную артиллерию [Электронный ресурс] // РБК: сайт. URL: <https://www.rbc.ru/politics/29/10/2022/635c84e09a7947b97c8cbd2a> (дата обращения: 13.06.2023).

2. Докучаев А. Война по-украински: артиллерийские дуэли решают все [Электрон-

ный ресурс] // Еженедельник «Звезда»: сайт. URL: <https://zvezdaweekly.ru/news/20227271310-Ob2nL.html> (дата обращения: 13.06.2023).

3. Пospelов М. Контрбатареяная борьба в условиях СВО [Электронный ресурс] // Информационное агентство NewsFront: сайт. URL: <https://news-front.info/2022/11/09/kontrbatarejnaja-borba-v-uslovijah-svo/> (дата обращения: 13.06.2023).

4. Литвиненко В., Цеханович Д. Особенности организации контрбатареяной борьбы в специальной военной операции [Электронный ресурс] // Армейский сборник. URL: <https://army.ric.mil.ru/Statii/item/424559/> (дата обращения: 13.06.2023).

5. Способ увеличения дальности полета активно-реактивного снаряда и активно-реактивный снаряд с моноблочной комбинированной двигательной установкой (варианты): пат. 2751311 Рос. Федерация № 2020118026; заявл. 01.06.2020; опубл. 13.07.2021. Бюл. № 20. 15 с.

6. Розанов Л.А., Смирнов В.Е. Адаптация нового типа моноблочной комбинированной двигательной установки к практике конструирования активно-реактивных снарядов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2020. № 4. С. 101–106.

7. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г. К вопросу о точности решения прямой задачи внешней баллистики // Вестник Томского государственного университета. 2017. № 47. С. 63–74.

8. Смирнов В.Е., Никитина И.Е., Розанов Л.А. Основы проектирования активно-реактивных снарядов с прямоточным воздушно-реактивным двигателем на твердом топливе: учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2022. 330 с.

9. Розанов Л.А., Смирнов В.Е., Розанов Л.А., Фомичев А.В. Сравнительный анализ методик расчета характеристик рассеивания активно-реактивного снаряда // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 3 (103). С. 103–09.

10. Assegai Projectile Family // American Rheinmetall Munitions Inc. URL: https://www.rheinmetall.com/media/editor_media/rheinmetallag/events/ausa_2022/american_rheinmetall_munitions/B171us0921_ARM_Asegai_Projectile_Suite_LR.pdf (Доступ с VPN; дата обращения 05.01.2023).