

УДК: 623.4.011

DOI: 10.53816/20753608_2022_1_81

**К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОГНЕМ**

**ABOUT THE IMPROVING OF THE SPECIAL SOFTWARE
OF AUTOMATED FIRE CONTROL SYSTEMS**

По представлению академика РАН В.В. Селиванова

Д.В. Зверев¹, Д.П. Левин², А.Н. Лебединец²

¹ Военное представительство МО РФ в АО «НПК «КБМ», ² МГТУ им. Н.Э. Баумана

D.V. Zverev, D.P. Levin, A.N. Lebedinets

На основании результатов анализа эксплуатационных документов и практического опыта эксплуатации комплексов автоматизированного управления огнем (КАУО) обоснована актуальность продолжения их модернизации. Предложены алгоритмы работы должностных лиц в ходе управления огнем для реализации в специальном программном обеспечении. Уточнено понятие эффективности применения комплексов автоматизированного управления огнем, учитывающее критерии времени выполнения огневой задачи, а также её стоимости.

Ключевые слова: комплекс автоматизированного управления огнем, специальное программное обеспечение, эффективность стрельбы, экономическая эффективность.

Based on the results of the analysis of operational documents and practical experience in the operation of automated fire control systems (AFCS), the urgency of continuing their modernization is substantiated. Algorithms of officials' work in the course of fire control have been proposed for implementation in special software. The concept of the effectiveness of the use of automated fire control systems has been clarified, taking into account the criteria for the time to complete the firing mission, as well as its cost.

Keywords: automated fire control systems, special software, firing efficiency, economic efficiency.

Из нормативных документов по управлению огнем артиллерии, действовавших в различные периоды развития артиллерийского вооружения, известно, что процесс подготовки стрельбы и управления огнем артиллерии всегда предусматривал не только решение геометрической и баллистической задачи, но и организацию управления огнем, важнейшей составной частью которой, является решение командира артиллерийского подразделения [1–6].

В работе [7] были рассмотрены функции, которые должны быть реализованы в специальном программном обеспечении (СПО) современных комплексов автоматизированного управления огнем (КАУО). Одним из основных направлений является необходимость внедрения в практику интерактивной системы, позволяющей должностным лицам (ДЛ) дивизиона иметь различные обоснованные варианты решения задач управления и выбирать из них наиболее выгодные.

СПО современных КАУО содержит комплексы задач управления огнем, которые, как правило, включают задачи: «Работа на огневой позиции до открытия огня», «Управление дивизионом (батареей) в ходе боя», «Маневр подразделений».

Результаты решения задач отображаются в информационных окнах (рис. 1).

Как видно на рис. 1, результаты расчета не содержат альтернативных вариантов решения огневой задачи [8].

В результатах исследований новых средств поражения воздушно-десантных войск [9], выделяются избирательно-объектовый метод поражения групповых объектов противника и избирательный метод поражения объектов противника, которые основываются на выборочном поражении важных (критических) объектов и в поражении наиболее важных элементарных целей из состава группового объекта.

Задача управления огнем по анализу целей противника представлена в СПО комплексом расчетных и информационных задач «Объектовая оценка противника и анализ сложившейся объектовой обстановки». В данном комплексе задач отображаются данные о сложившейся целевой обстановке с указанием типов объектов противника, их общего количества, количества объектов, ожидаемых к вскрытию, вскрытых к настоящему времени, боевой состав и вооружение всей противостоящей группировки против-

ника, справочной информации о тактико-технических характеристиках вооружения и военной техники противника. Результаты решения задач представлены на рис. 2, 3 [8].

Из данных, приведенных в информационных окнах видно, что алгоритм решения данного комплекса задач не предусматривает анализ объектовой оценки противника, исходя из критерия важности целей. СПО современных комплексов содержит широкую номенклатуру специальных задач, однако, по мнению авторов, демонстрационные возможности и высокая степень интерактивности, не могут служить основанием для того, чтобы считать СПО полезным. На практике, перечисленные задачи управления огнем, зачастую, продолжают решаться традиционными способами, которые предусматривают поиск справочных данных, проведения дополнительных вычислений, а также самостоятельно разработанных вспомогательных средств. Типичная работа оператора по управлению огнем представлена на рис. 4.

В связи с этим, возрастает актуальность совершенствования алгоритмов, реализованных в СПО современных КАУО, с целью обеспечения ДЛ дивизиона альтернативными вариантами решения задач управления огнем и, как следствие, повышения эффективности применения КАУО и артиллерийских подразделений в целом.

Для повышения качества работы СПО по управлению огнем необходимо решить следующие задачи:

Результаты решения				
Цель АЛ2000				
Характер: ПЕХ	Координаты: 6158176 07367376	Высота: 127	Степень поражения	
Ненаблюдаемая, открытая	Дальность: 1596	Дир. угол: 4212	Угол места: 4	требуемая: 35
				достигаемая: 71
Основная задача ☒ Сигнал вызова огня: ШТОРМ Исполнительная команда: Навести				
Вид: настильная		Привлекаемые батареи: 4, 5, 6 Способ определения установок: сокращенная подготовка		
Боеприпас				
Тип боеприпаса: ПМ				
Индекс снаряда: ОФ25				
Индекс взрывателя: РГМ-2				
Уст. взрывателя: 0				
Задача стрельбы:				
подавление				
		Батарея 4	Батарея 5	Батарея 6
	Дальность	5424	6292	5899
	Дир. угол	44-96	45-72	47-33
	Угол места	4	3	3
	Заряд	Четвертый	Четвертый	Четвертый
	Расход	36	30	36
Время упреждения для светового обеспечения: 14 с (Сначала осветительный боеприпас)Способ обстрела: внакладку. Установок прицела - 3, угломера - 2				
Предупреждения		Выход		

Рис. 1. Информационное окно СПО КАУО «Результаты решения»

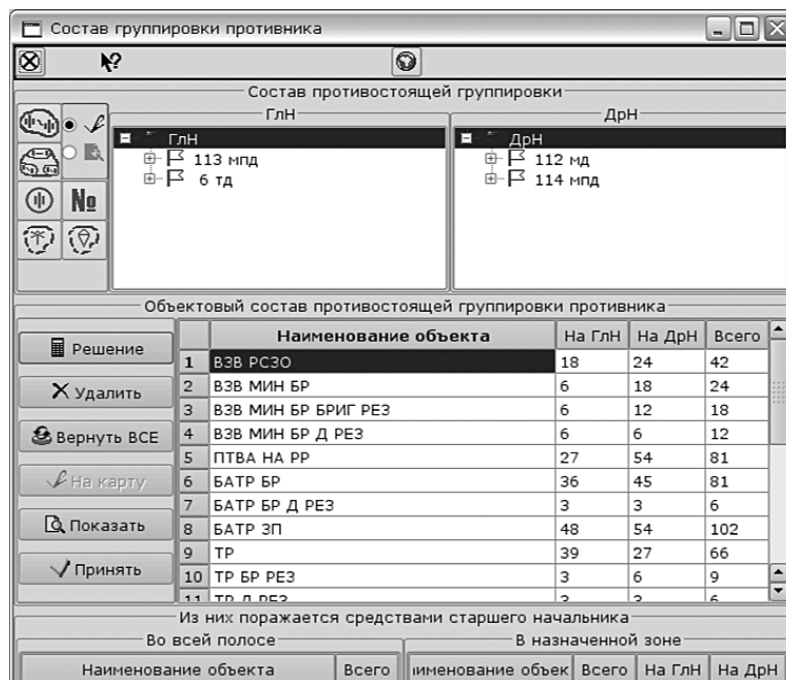


Рис. 2. Информационное окно СПО КАУО «Состав группировки противника»

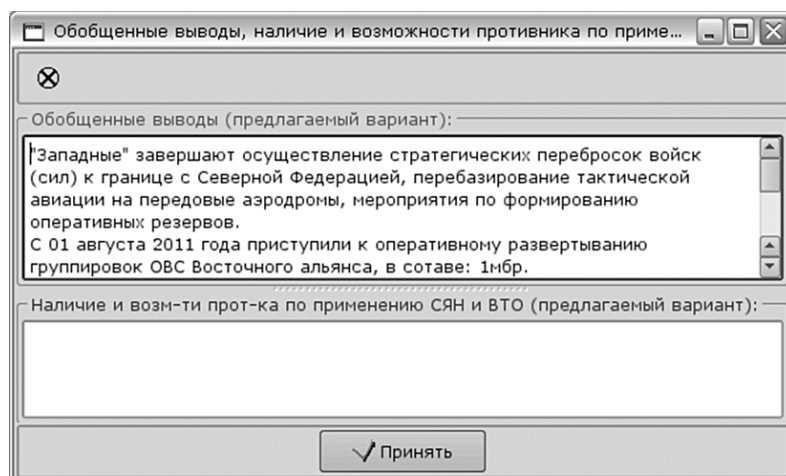


Рис. 3. Информационное окно СПО КАУО «Обобщенные выводы, наличие и возможности противника по применению»



Рис. 4. Процесс управления огнем в ходе мероприятий боевой подготовки

1. Уточнить понятие эффективности применения артиллерийских подразделений;

2. Предложить алгоритмы решения задач управления огнем, для совершенствования СПО КАУО.

Исследование вопроса повышения эффективности применения КАУО предлагается начать с уточнения этого понятия.

Из нормативных документов по стрельбе и управлению огнем известно, что огонь артиллерии тем эффективнее, чем больший ущерб нанесен противнику, чем значительнее причиненные разрушения, что зависит от точности, своевременности, внезапности и скрытности [4].

Вместе с тем, например, при снижении точности огня, в целях поддержания требуемой эффективности, правила стрельбы допускают привлечение к ведению огня дополнительного числа орудий и увеличение расхода боеприпасов [5].

Однако ресурсы на проведение военных мероприятий не безграничны. Чем больше боеприпасов будет израсходовано для выполнения одной огневой задачи, тем меньше их останется для выполнения других. Без взаимосвязи показателей эффективности стрельбы с затратами, показатель эффективности теряет экономический смысл и показывает лишь ожидаемый результат. Для соединения этих факторов и выбора наиболее выгодного способа решения задачи в конкретных условиях обстановки, ДЛ должны иметь оперативную обоснованную информацию об альтернативных способах решения. Итоговым показателем для принятия решения должна являться именно экономическая эффективность использования ограниченных ресурсов, так как данный показатель является более чувствительным и содержит влияние как величины наносимого (предотвращенного) ущерба, так и времени выполнения огневой задачи, и её стоимости.

Поэтому под критерием эффективности стрельбы предлагается понимать выражение, связывающее величину ущерба, наносимого противнику (предотвращенного ущерба нашим войскам), время за которое выполняется огневая задача и стоимость её выполнения. Параметр времени выполнения задачи в большой мере коррелирует с вероятностью собственного поражения от ответного огня.

Далее рассмотрены варианты решения задач, которые, по мнению авторов, могут служить основой для совершенствования СПО КАУО.

Артиллерийские подразделения во всех случаях участвуют в боевых действиях в интересах общевойсковых подразделений. Каждая цель, поражаемая огнем артиллерии, характеризуется боевыми возможностями. Снизив боевые возможности цели противника, мы уменьшим потери нашего общевойскового подразделения. Следует подчеркнуть, что каждая цель имеет реальную важность по отношению к другим объектам в группировке противника. Важными целями для общевойсковых подразделений обычно являются огневые средства: стреляющие артиллерийские батареи, танки, радиолокационные станции, противотанковые управляемые ракетные комплексы, пулеметы, гранатометы, наблюдательные пункты. В том случае, когда эти цели находятся в пределах дальности их действительного огня от общевойскового подразделения, они являются опасными. Особо опасными целями в настоящее время являются средства ядерного нападения, например пусковые установки оперативно-тактических ракетных комплексов, самоходные артиллерийские орудия, ведущие огонь ядерными боеприпасами.

Дифференциация целей позволяет командиру артиллерийского подразделения быстро и обоснованно принимать решение по очередности их поражения, планировать дальнейшее огневое поражение противника.

Важность объекта характеризуется коэффициентом важности $A(t)$, который определяется с использованием коэффициентов важности основных целей группировки противника.

$$A(t) = \frac{M[W_{03}]}{M[W_0]},$$

где $M[W_{03}]$ — математическое ожидание ущерба, который может нанести нашим войскам предложенная к поражению цель; $M[W_0]$ — математическое ожидание ущерба, который может нанести нашим войскам эталонная цель.

Если цель рассматривать вне группировки противника, то коэффициент важности можно принять за единицу.

Наибольший интерес для ДЛ представляет динамика изменения коэффициента важности

в результате обстрела цели. Определив изменение коэффициента важности в результате огневого воздействия, возможно определить степень снижения боевых возможностей цели и, следовательно, предотвращенный ущерб наших войск, а значит оценить эффективность выполнения огневой задачи [12–17].

Итак, до начала огневой воздействия по цели присвоим ей коэффициент важности $A(t)$, примем что она может наносить ущерб общевойсковому подразделению со скоростью $V(\tau)$. После начала огневой воздействия скорость нанесения ущерба нашим войскам будет снижаться $V^*(\tau)$, а значит будет снижаться и коэффициент важности данной цели $A^*(t)$.

При таком подходе частное значение показателя эффективности выполнения огневой задачи может быть рассчитано как разность коэффициентов до начала огневой налета и после. Учитывая случайный характер снижения коэффициента важности, его целесообразно выражать, как математическое ожидание $M[A^*(t)]$.

Показатель эффективности выполнения огневой задачи, в таком случае, может быть рассчитан по формуле

$$W_{03} = A(t) - M[A^*(t)].$$

Значение коэффициента важности после огневой воздействия можно рассчитать по формуле (3)

$$M[A^*(t)] = \int_0^{\infty} V^*(\tau) C\delta(\tau) d\tau,$$

где $C\delta(\tau)$ — функция, описывающая состояние боеспособности цели; τ — текущее время. Скорость нанесения ущерба $V^*(\tau)$ обычно выражают через коэффициент важности объекта

$$V^*(\tau) = A(t) \alpha e^{-\alpha \tau},$$

где α — интенсивность потока потерь, полученных в ходе боя.

Графическое изображение показателя эффективности выполнения огневой задачи представлено на рис. 5 и рассчитывается по формуле

$$W_{03} = A(t) \left[1 - \int_0^{\infty} V^*(\tau) C\delta(\tau) d\tau \right].$$

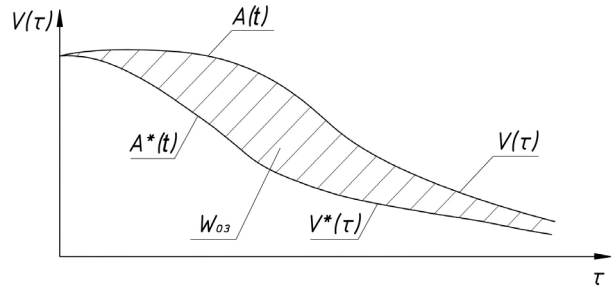


Рис. 5. Графическое изображение показателя эффективности выполнения огневой задачи при огневом воздействии на цель

На основании данного показателя может быть сделан вывод о целесообразности поражения той или иной цели.

Для реализации в СПО КАУО автоматизации определения наилучшего способа обстрела цели, при заданном расходе боеприпасов, могут использоваться широко распространенные в ЭВМ методы статистических испытаний [10, 11], теоретической основой которых является закон больших чисел. Согласно этому закону с вероятностью близкой к единице можно утверждать, что при достаточно большом количестве опытов в неизменных условиях частота появления события сходится по вероятности к вероятности события P , а среднее значение случайной величины — к ее математическому ожиданию.

Сущность данного метода заключается в следующем.

Главным средством статистических испытаний является датчик случайных чисел по заданному закону их распределения. Датчики случайных чисел генерируют числа по закону равной вероятности, от которого специальными приемами переходят к любому закону, в том числе и к нормальному.

Сущность моделирования методом статистических испытаний рассмотрим на примере стрельбы орудием по отдельной цели размерами $2l_n, 2m_n$.

С помощью датчика случайных чисел определяют случайную ошибку i -го выстрела в системе двух ошибок. Случайные отклонения разрыва от цели, когда точка прицеливания совмещена с целью, равны

$$x_{bi} = x + x_{pi},$$

$$z_{bi} = z + z_{pi},$$

где x, z — случайные ошибки определения установок в данной стрельбе; x_{pi}, z_{pi} — случайные отклонения разрывов от центра рассеивания снарядов вследствие рассеивания.

Цель считается пораженной при условии

$$|xb_{j,i}| \leq l_n \text{ и } |zb_{j,i}| \leq m_n, \quad (1)$$

где $xb_{j,i}, zb_{j,i}$ — частные значения ошибки j -го орудия в i -ой стрельбе по дальности и направлению.

При стрельбе с искусственным рассеиванием условием поражения цели является

$$|xb_{j,i} + x_{dj}| \leq l_n \text{ и } |zb_{j,i} + z_{dj}| \leq m_n,$$

где x_{dj}, z_{dj} — удаление точки прицеливания от цели.

Разыгрывают N выстрелов и для каждого выстрела определяют случайные значения $xb_{j,i}$ и $zb_{j,i}$, после чего проверяют условие (1).

Если из N выстрелов есть попадание, то в счетчик числа случаев поражения заносится единица, если нет — ноль.

Определяют частоту попадания снаряда в цель в i -ой стрельбе r_v

$$r_v = \frac{n_v}{N},$$

где n_v — число раз попадания снаряда в цель из N выстрелов.

Проводят многократное моделирование стрельб и рассчитывают среднюю частоту, которую принимают за вероятность поражения цели:

$$P = \frac{\sum_{v=1}^{A_p} r_v}{A_p}, \quad (2)$$

где $A_p = 400-500$ — количество реализаций.

При стрельбе по групповым целям величину ущерба можно возможно определить в следующем порядке.

Когда положение элементарных целей в составе групповой неизвестно, их расположение целесообразно принимать равномерным.

Событие поражения цели определяется исходя из неравенств, при i -ом выстреле:

$$|xb_{j,i} + x_{dj} + v_{x,\psi}| \leq l_n;$$

$$|zb_{j,i} + z_{dj} + v_{z,\psi}| \leq m_n,$$

где $v_{x,\psi}$ и $v_{z,\psi}$ — координаты ψ -ой цели относительно центра групповой цели.

Далее проверяется событие поражения целей, оказавшихся не пораженными предыдущими выстрелами. Пораженные цели исключаются из общего числа.

Результатом стрельбы является относительная величина ущерба v -ой реализации:

$$\epsilon_v = \frac{R_v}{K}.$$

где R_v — число пораженных элементарных целей; K — общее число поражаемых целей.

Величина среднего ущерба по A_p реализации принимается за математическое ожидание относительного числа пораженных целей:

$$M(\epsilon) = \epsilon_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{A_p} \epsilon_v}{A_p}.$$

В целях большей доступности и убедительности в эффективности того или иного способа выполнения огневой задачи, по мнению авторов, представляется целесообразным отображение в информационном окне «Результаты решения» — критерия выбора оптимального решения, то есть, признака, на основании которого, производится оценка целесообразности применения данного способа выполнения огневой задачи. Расчет оптимального критерия выбора — это лишь подготовка для ДЛ, вспомогательных и обоснованных данных, которые не могут заменить решение человека. Выбор окончательного варианта решения должен является прерогативой командиров, выполняющих огневые задачи.

Для достижения требований принципа оптимальности необходимо формировать достаточно большое количество возможных способов выполнения огневых задач, проводить их анализ и выбирать наилучший по определенному критерию. Этим требованиям отвечает критерий, связывающий показатели эффективности стрельбы, с критериями времени выполнения и стоимости огневой задачи.

Для реализации в СПО КАУО возможности определения такого критерия предлагается алгоритм, суть которого заключается в следующем.

Определяют вероятность поражения цели, например, по формуле (2), если цель групповая.

Определяют расход снарядов:

$$M[N]_{\min} = \frac{4\pi E_x E_z}{P^2 S},$$

где E_x, E_z — срединные ошибки подготовки по дальности и направлению; S — приведенная площадь поражения; P — вероятность попадания при одном выстреле, которая в определенных условиях может определяется по формуле:

$$P_{x,z} = \Phi\left(\frac{l_n}{B_d}\right) \cdot \Phi\left(\frac{m_n}{B_6}\right),$$

где B_d, B_6 — срединные ошибки выстрела по дальности и направлению, l_n, m_n — приведенные размеры цели.

Определяют стоимость одного выстрела. Следует отметить, что стоимость одного выстрела учитывает затраты всего жизненного цикла боеприпаса, а также затраты на образец вооружения, так как при каждом выстреле уменьшается его технический ресурс. Отсюда стоимость выстрела $COST_{\text{выстр}}$ можно вычислить по формуле:

$$COST_{\text{выстр}} = \frac{cost_{\text{ПЖЦ}}}{R_{\text{CAO}}} + cost_{\text{б/п}},$$

где $cost_{\text{ПЖЦ}}$ — стоимость полного жизненного цикла образца вооружения, например — самоходного артиллерийского орудия (CAO); R_{CAO} — ресурс CAO, например, обусловленный ресурсом ствола орудия (количество выстрелов); $cost_{\text{б/п}}$ — стоимость одного снаряда.

Определяют стоимость выполнения огневой задачи, например, по формуле:

$$COST_{\text{ОгЗ}} = M[N_{\min}] COST_{\text{выстр}}.$$

Определяют длительность выполнения боевой задачи каждым средством T_i :

$$T_i = \frac{M[N_{\min}]}{\text{скорострельность}}.$$

Из всех результатов решений выбирают, обеспечивающий наименьшую длительность T_i .

Из числа вариантов, удовлетворяющих условию минимальной длительности выполнения

огневой задачи, выбирают тот, у которого меньше стоимость.

На практике может возникнуть задача необходимости оценки эффективности снижения боевого потенциала цели до некоторого значения. Тогда определить приращение затрат $\Delta cost$ на единицу эффективности выполнения огневой задачи можно следующим образом:

$$\Delta cost = \frac{COST_{\text{ОгЗ}^1} - COST_{\text{ОгЗ}^2}}{W^1 - W^2},$$

где $COST_{\text{ОгЗ}^1}$ — затраты для нанесения ущерба W^1 ; $COST_{\text{ОгЗ}^2}$ — затраты для нанесения ущерба W^2 .

Итак, в данной статье на основании результатов анализа эксплуатационной документации на современные КАУО, выявлена и обоснована необходимость совершенствования СПО, в части включения специальных задач, позволяющих ДЛ, имея альтернативы для выбора, принимать экономически эффективные решения. Предложены алгоритмы оценки эффективности стрельбы с учетом критерия важности цели, а также позволяющие осуществлять выбор наиболее выгодного способа обстрела цели. Предложен алгоритм оценки экономической эффективности огневой задачи, с целью его реализации в СПО КАУО.

Литература

1. Наставление по управлению огнем наземной артиллерии. Часть 1. Управление огнем дивизиона (полка, бригады). Воен. издат. — Москва. 1964. 233 с.
2. Боевой устав артиллерии. Дивизион, батарея, взвод, орудие. Утв. 20.12.1965 приказом № 343 Министра обороны СССР Маршалом СССР Р. Малиновским. Воен. издат. МО СССР. — Москва. 1966. 138 с.
3. Боевой устав артиллерии. Часть 2. Дивизион, батарея, взвод, орудие. Введен в действие приказом главкома Сухопутных войск 01.12.2005. № 168. Воен. издат. — Москва. 2006. 406 с.
4. Пособие по изучению Правил стрельбы и управления огнем артиллерии (ПС и УО — 2011). Дивизион, батарея, взвод, орудие. Часть 1. Введены в действие приказом начальника Ракетных войск и артиллерии Сухопутных войск в 2011.

5. Правила стрельбы и управления огнем артиллерии. Дивизион, батарея, взвод, орудие. Часть 1. Введены в действие приказом главнокома Сухопутных войск 01.11.08. № 8. МВАА. — Санкт-Петербург. 2011. 312 с.

6. Курс подготовки артиллерии (КПА-93). Часть 1. Дивизион. Батарея. Взвод. Орудие. — Москва. 1997. 69 с.

7. Ганин А.А., Череватенко М.В. [Электронный ресурс] / Анализ состояния и направлений развития средств автоматизации и программного обеспечения КСАУ артиллерией ВДВ // Вопросы радиоэлектроники. — Москва. 2017. № 12. С. 27–30. Режим доступа: <https://army.ric.mil.ru/Stati/item/196258/>

8. АО «ВНИИ «Сигнал». Программное обеспечение комплекса 1В198. Комплекс задач «Управление дивизионом (батареей) при подготовке БД». Руководство оператора. АЮИЖ. 41276-01 34 02. Утвержден АЮИЖ. 41276-01 34 02-ЛУ. 254 л.

9. Литвиненко В. [Электронный ресурс] / Цели для артиллерии // Армейский сборник. Журнал МО РФ. — Москва. 2019. Режим доступа: <https://army.ric.mil.ru/Stati/item/156805/>

10. Ришняк А.Г. Системный анализ эффективности оружия в интеллектуальной САПР «ИНЖЕНЕР М4» // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2012. № 9–10. С. 63–68.

11. Ришняк А.Г., Люшнин С.А. Объектное моделирование и информационное обеспечение в оптимальном проектировании средств поражения по критерию боевой эффективности //

Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 3 (98). С. 44–51.

12. Рипенко Ю.Б. Развитие комплексов средств автоматизации управления ракетных войск и артиллерии. 630 лет на защите отечества. Исторический очерк. ФГКВОУ ВО «Михайловская военная артиллерийская академия» МО РФ. — Санкт-Петербург. 2012. С. 69–86.

13. Красильников В.Н., Козар А.Н., Моисеев В.С., Красильников О.В. Переносные комплексы автоматизированного управления огнём артиллерии тактического звена. Казанское ВАКУ (военный институт) им. М.Н. Чистякова. — Казань. 2009. 146 с.

14. Барковский А.Ф. Основы оценки эффективности и выработки рекомендаций по поражению целей огнём артиллерии. — Санкт-Петербург. 2001. 376 с.

15. Чудаков Ю.В. Основы оценки эффективности огневого поражения противника силами и средствами РВ и А Сухопутных войск. — М.: Воениздат. 1990. 64 с.

16. Кежаев В.А., Ефимов Н.Е., Васильковский С.А. Специальное математическое обеспечение процесса планирования огневого поражения противника // Военная мысль № 2. — М.: Воениздат. 1998. С. 56–62.

17. Красильников В.Н., Зайдуллин С.С. Технология системной интеграции компонентов типовых программно-аппаратных комплексов / Теория и практика системной динамики // Материалы 2-й Всероссийской научной конференции. — Апатиты: ИИММТП. 2007. С. 27–29.