

УДК: 623.46

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ
НОСИМОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTIONS OF REALIZATION
OF THE WEARABLE MISSILE SYSTEM**

По представлению академика РАН В.И. Бабичева

М.В. Рындин, А.И. Дикшев, Т.А. Баукова, В.С. Чиков

АО «КБП» им. А.Г. Шупунова

M.V. Ryndin, A.I. Dickshev, T.A. Baukova, V.S. Chikov

В продолжение статьи «Структурный синтез носимого ракетного комплекса», опубликованной в вып. 4 (94) за 2016 г. В статье рассмотрены работы по выбору предпочтительного варианта схемно-компоновочного решения носимого ракетного комплекса кинетического действия. Приведён сравнительный анализ различных вариантов комплекса при уменьшенном количестве допущений.

Ключевые слова: кинетическое поражение, носимый ракетный комплекс, структурный синтез, управляемая пуля.

In addition of article «Structural synthesis of a portable missile system» published in issue 4 (94) at 2016. Continuation of research of preferable choice for variant of schematic layout of portable kinetic missile system described in article. A comparative analysis of considered variants of system with less number of assumption presented.

Keywords: kinetic hitting, portable missile system, structural synthesis, guided projectile.

В статье [1] представлено описание возможного варианта реализации концепции многоцелевого оружия, изложенного в работе [2]. Авторами статьи сформирована структурная схема комплекса, приведён перечень его составных частей, описаны их основные функции и приведены оценки массы. Авторами синтезированы четыре варианта схемы реализации носимого ракетного комплекса кинетического действия, в том числе два варианта для стрельбы с плеча и два варианта для стрельбы со станка. Помимо аналитической оценки преимуществ и недостатков каждого из вариантов построения комплекса, авторами статьи проведена предварительная оценка точности наведения на подвижную и неподвижную цели. В результате исследования [1] были сформированы требования к системе стабилизации луча, расположенной

в прицеле-приборе наведения (ППН), и к телевизионному автомату сопровождения (ТАС) в части компенсируемых с их помощью рассогласований прицельной марки и линии визирования цели. В заключение отмечено следующее:

– поскольку испытания проводились в упрощённой постановке со значительными допущениями, необходимо изготовить матчасть, позволяющие оператору полностью управлять комплексом, имитировать выстрел и оценить возможности станка с электромеханическим приводом наведения, после чего повторно провести испытания, подвергая оператора предварительной физической нагрузке;

– в виду паритетности двух вариантов исполнения комплекса для стрельбы с плеча, на основе новой серии экспериментов должна быть

выбрана предпочтительная схема, а также могут быть уточнены требования к оптико-электронным устройствам, входящим в состав комплекса.

Для проведения новой серии экспериментов была разработана и изготовлена следующая матчасть:

– макет комплекса вооружения, включающий в себя основные составные части изделия: ППН, ТАС, источник питания (ИП) в виде аккумуляторной батареи, пульт управления (ПУ), видеосмотровое устройство (ВСУ) в виде наשלемной системы индикации, станок, макет тепловизионного прицела (ТПВП), макет наземного радиозапросчика (НРЗ) и центральную вычислительную систему (ЦВС);

– имитатор силового и шумового воздействия (ИСВ), соответствующий по габаритам и массе штатному транспортно-пусковому контейнеру с управляемой пулей;

– стенд-имитатор цели, позволяющий имитировать цель, движущуюся одновременно в вертикальном и горизонтальном каналах наведения.

Целью исследования является уточнение требований к составным частям комплекса вооружения и выбор предпочтительной его компоновки на основе результатов серии экспериментов по определению точностных характеристик изделия с учётом эргономических особенностей рассматриваемых вариантов изделия.

Объект исследования был представлен на испытании в пяти вариантах исполнения. При этом макет комплекса был выполнен на основе модульного принципа построения, что позволило значительно ограничить количество используемой матчасти: сборка вариантов изделия осуществлялась с использованием одних и тех же составных частей.

Первая схема (рис. 1, а) предполагает размещение в составе прицельно-пускового устройства (ППУ) только ППН, ТПВП, антенны НРЗ и ПУ, то есть только тех устройств, которые должны быть съюстированы с линией визирования цели и ПУ, необходимого для управления комплексом, одновременно выполняющего функцию рукоятки для удержания ППУ на плече. Прочие составные части комплекса размещаются в разгрузочном жилете на теле оператора. В случае, если в результате исследований будет установлено обязательное наличие станка в составе комплекса, данные устройства могут быть интегрированы в его состав. Рассматриваемое ППУ может устанавливаться на станок для уменьшения нагрузки на оператора и, одновременно, с целью снижения зависимости точности стрельбы от психофизического состояния стрелка.

Во второй схеме построения (рис. 1, б) все составные части комплекса (кроме станка) объединены в моноблок, аналогично [3], при этом те устройства, которые в первой схеме размещены

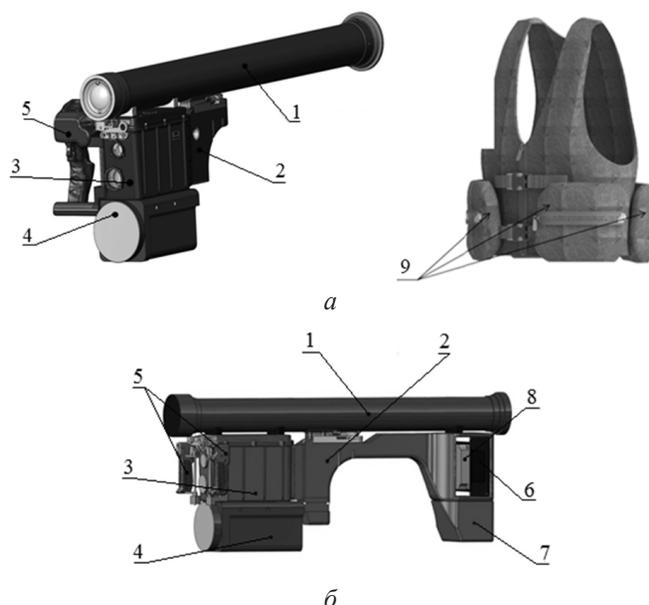


Рис. 1. 1 — ИСВ; 2 — приклад; 3 — ППН; 4 — макет ТПВП; 5 — ПУ; 6 — ИП; 7 — макет НРЗ; 8 — ТАС; 9 — блоки аппаратуры

в разгрузочном жилете, в данном случае смещены назад за плечо оператора и выступают в качестве противовеса для ППН и ТПВП. Данное ППУ также может размещаться на станке.

Третья схема (рис. 2, а) представляет собой ППУ первой схемы, размещённое на станке с электромеханическим приводом наведения. При этом ТАС, ЦВС, ИП и НРЗ размещаются не в разгрузке, а в центральной стойке станка, что позволяет минимизировать массу пусковой установки при обеспечении её жёсткости и необходимой высоты линии ведения огня. В этом случае ПУ отстыковывается от ППУ и, при помощи кабеля, позволяет оператору управлять комплексом дистанционно.

Четвёртая схема (рис. 2, б) аналогична третьей схеме, но в данном случае используется станок с ручным приводом наведения (система рычагов). ПУ при этом отстыковывается от ППУ и становится конструктивным продолжением рычага управления. Не входящие в состав ППУ элементы могут как размещаться в разгрузке

(первая схема), так и интегрироваться в состав станка (третья схема).

В пятой схеме (рис. 3) ППУ-моноблок устанавливается на станке с электромеханическим приводом. Управление комплексом осуществляется аналогично третьей схеме.

Подробное описание представленных схем реализации комплекса представлено в [1].

Следует отметить, что макет электромеханического привода наведения изготовлен с использованием электродвигателей и редукторов, предназначенных для широкого потребления и не отвечающих требованиям по величине люфта и жёсткости валов, в связи с чем, представленные данные об ошибках наведения с использованием электропривода являются значительно завышенными, однако данный макет позволил оценить эксплуатационные свойства третьей и пятой схем.

В отличие от [1], эксперименты выполнялись в следующей постановке.

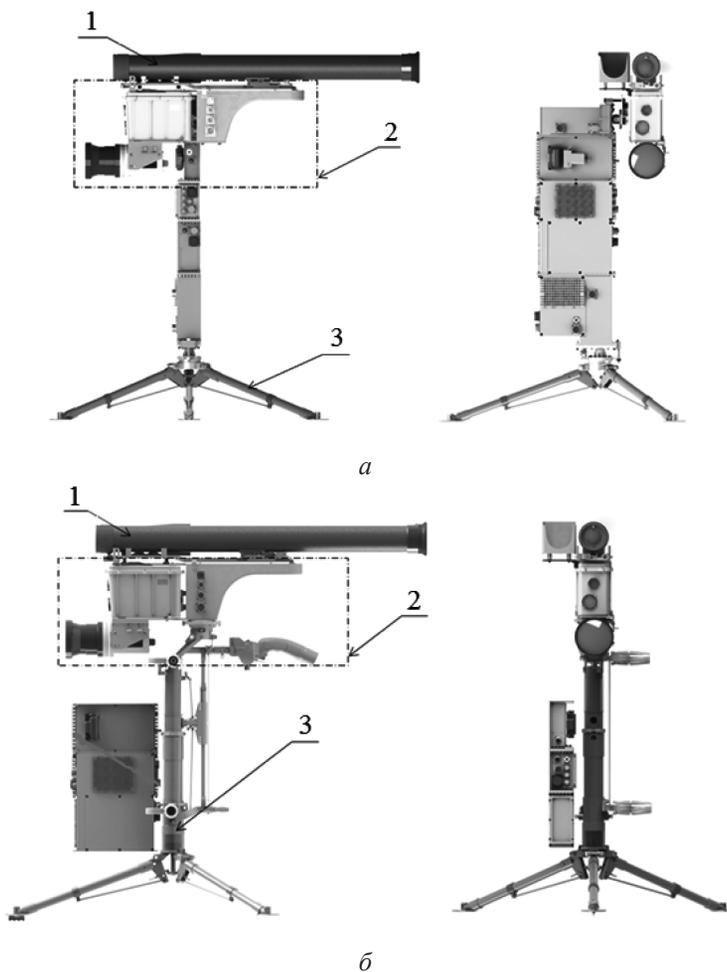


Рис. 2. 1 — ИСВ; 2 — облегченное ППУ; 3 — станок

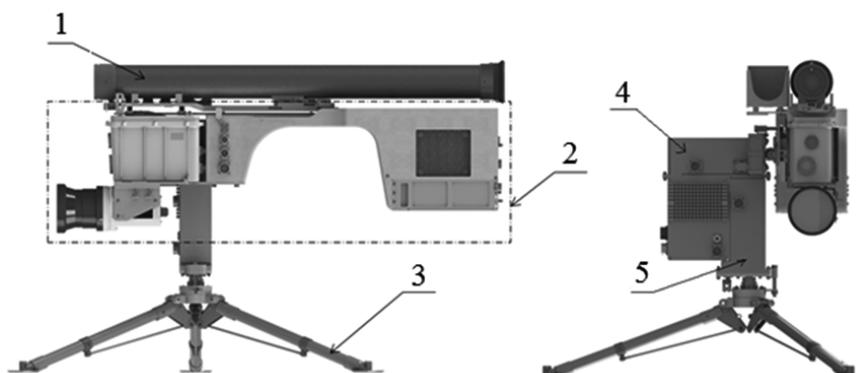


Рис. 3. 1 — ИСВ; 2 — ППУ; 3 — станок; 4, 5 — электропривод

Оператор занимает стрельбовую позицию и включает электропитание комплекса. После выхода комплекса на режим, оператор обнаруживает цель в видеосмотровом устройстве и совмещает её с прицельной маркой. Далее выполняется захват цели ТАС и постановка её на автосопровождение. Затем производится выстрел, после чего оператор продолжает удерживать прицельную марку на цели до момента окончания её автоматического сопровождения ТАС (период времени соответствует полёту управляемой пули на максимальную дальность). В первой и второй схемах для сопровождения цели оператор использует своё тело, в четвертой схеме рычаги управления, а в третьей и пятой схема — кнопка, размещённый на ПУ. При этом третья и пятая схемы позволяют оператору после захвата цели ТАС перевести комплекс в режим автоматического слежения за целью, в котором команды управления в электропривод поступают от ТАС, что значительно упрощает работу оператора.

Измеряемые параметры — угол рассогласования центра цели и прицельной марки, угловая скорость и угловое ускорение взаимного перемещения центра цели и прицельной марки в

вертикальном и горизонтальном каналах наведения. Дополнительно фиксировалось наличие или отсутствие срывов автоматического сопровождения цели ТАС. Помимо того, производилась оценка результата стрельбы в системе «попадание/промах», где попаданием считалось непревышение определённых в [1] параметров оптико-электронной системы комплекса, а промахом — выход за эти пределы как минимум по одной из составляющих.

В момент выстрела на оператора или станок действуют создаваемые ИСВ (рис. 4) импульсы наката и отката, в совокупности эквивалентные таковым, формирующимся при выходе из контейнера управляемой пули. Одновременно раздаётся звуковой сигнал, аналогичный по уровню звукового давления и продолжительности звуку, создаваемому разгонным двигателем управляемой пули.

Скорость движения имитатора фоноцелевой обстановки соответствует движению по пересечённой местности объекта бронетанковой техники или воздушной цели, движущейся на большом удалении на встречном курсе с параметром.

Испытания проводились для первой, второй и четвертой схем в позициях «стоя» и «с колена»,

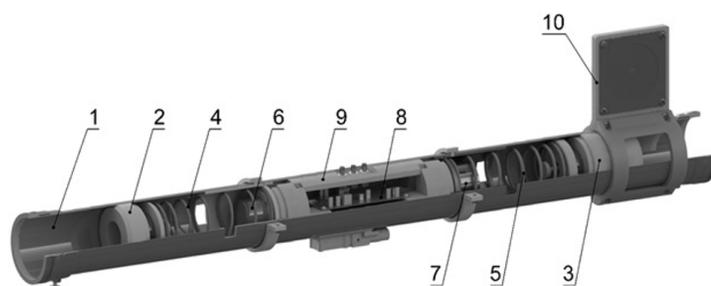


Рис. 4. 1 — транспортно-пусковой контейнер; 2, 3 — грузы; 4, 5 — пружины; 6, 7 — удерживающие электромагниты; 8 — плата управления; 9 — панель управления; 10 — динамик

для третьей и пятой схем дистанционно с удалением оператора с ПУ на 10 метров от станка с ППУ.

В испытаниях принимали участие 6 испытателей вооружения, антропометрические параметры которых охватывают максимальный диапазон потенциальных эксплуатантов комплекса, что обеспечивает статистическую достоверность результатов испытаний [4].

В ходе исследования было выполнено 400 выстрелов с их последующей обработкой.

Период сопровождения цели оператором с момента выстрела до момента попадания в цель можно разделить на два этапа. В течение первого управляемая пуля выстреливается в луч, а в ходе второго этапа — движется в луче.

На первом этапе предпочтительной является такая схема построения комплекса, которая обеспечивает наименьшие амплитуду и частоту колебаний оптической оси ТВ-канала, а также наиболее быстрое затухание этих колебаний после схода изделия. Сравнительный анализ схем по амплитуде колебаний показал, что вторая схема является предпочтительной при работе с плеча, а пятая схема — со станка, имеющие в совокупности меньшие значения средних значений амплитуды и среднеквадратического

отклонения (СКО) по сравнению с другими схемами (табл. 1).

Сравнительный анализ и результаты статистического анализа результатов на втором этапе представлены в табл. 2. Количественный анализ показал, что, во-первых, совокупность всех однотипных результатов, представленная всеми подходами из позиции «стоя», «с колена», со станка в ручном и автоматическом режимах сопровождения подчиняется нормальному закону распределения при уровне значимости 0,05. Во-вторых, положительные высокие значения эксцесса и основной моды, а также близость значений медианы и средних значений к нулевым указывают на сосредоточенность большей части наблюдений вокруг нулевых координат, при этом большее значение эксцесса и моды соответствует более высокому числу наблюдений без срывов [5–7].

Наиболее информативными критериями сравнительного анализа схем являются:

- средняя величина ошибки наведения (угла рассогласования ЛВЦ и оптической оси ТВ-канала);
- СКО ошибки наведения;
- частота встречаемости амплитуды угла рассогласования ЛВЦ и оптической оси ТВ-канала (табл. 3);

Таблица 1

Амплитуды колебаний

Позиция	С плеча		Со станка		
	1	2	3	4	5
Среднее, мрад	3,8	2,62	2,85	3,4	1,7
СКО	2,65	3,7	4,05	4,88	2,4

Таблица 2

Статистические характеристики результатов испытаний

Схема	1		2		3		4		5	
	С колена	Стоя	С колена	Стоя	Авто	Ручн.	С колена	Стоя	Авто	Ручн.
Среднее значение, мрад	0,27	0,17	0,21	0,15	0,53	0,03	0,20	0,81	0,16	0,17
Медиана, мрад	0,22	0,13	0,07	0,04	0,44	0	0,27	0,19	0,31	0,00
Мода, мрад	-0,07	0,18	0,04	0,07	0,60	-0,02	0,29	0,11	0,60	0,05
Частота моды	2,10	1,31	1,88	1,13	5,90	4,46	1,44	1,96	6,40	6,15
Минимум, мрад	13,58	13,52	10,84	11,61	13,83	8,29	11,32	10,97	13,52	7,63
Максимум, мрад	11,54	13,75	11,56	13,84	14,28	7,17	13,43	12,55	13,89	4,56
Размах, мрад	24,77	25,95	19,41	24,29	22,55	16,68	24,58	26,24	17,64	11,45
СКО, мрад	1,81	2,69	2,00	2,74	2,91	0,85	3,48	2,65	2,40	0,89
Эксцесс, мрад	12,43	4,81	4,85	4,34	10,06	9,23	3,18	2,18	12,34	13,33

– частота встречаемости величины угловой скорости изменения угла рассогласования ЛВЦ и оптической оси ТВ-канала (табл. 4);

– частота встречаемости величины углового ускорения изменения угла рассогласования ЛВЦ и оптической оси ТВ-канала (табл. 5).

Среднее значение угла рассогласования прицельной марки и центра цели не превышает

0,30 мрад по вертикальной оси и 0,29 мрад по горизонтальной оси при работе с плеча оператора в позиции «с колена» и 0,23 мрад и 0,13 мрад, соответственно, для позиции «стоя», при этом различия между первой и второй схемами незначительны. В частных подходах большие отклонения прицельной марки от центра цели чаще наблюдаются при работе в позиции «стоя». Зна-

Таблица 3

Частота встречаемости амплитуды угла рассогласования ЛВЦ и оптической оси ТВ-канала

Схема	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Диапазон, мрад	Вертикальная ось					Горизонтальная ось				
0...1	45,71	44,53	81,76	42,52	83,36	54,41	45,71	79,59	39,38	86,37
1...2	26,48	23,45	7,83	22,91	6,63	24,97	26,89	9,16	20,44	5,35
2...4	18,52	21,93	4,98	22,47	6,67	15,39	20,80	5,84	22,47	3,29
4...6	5,33	6,55	1,51	6,27	1,14	3,22	4,92	1,86	9,16	2,51
>6	3,95	3,54	3,92	5,82	2,19	2,01	1,68	3,56	8,55	2,48

Таблица 4

Частота встречаемости величины угловой скорости изменения угла рассогласования ЛВЦ и оптической оси ТВ-канала

Схема	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Диапазон, мрад/с	Вертикальная ось					Горизонтальная ось				
0...5	46,69	44,97	66,94	72,65	87,65	46,87	45,21	74,57	72,49	88,23
5...10	27,53	26,83	16,54	14,30	6,91	28,78	27,67	10,00	15,11	6,39
10...20	18,63	20,15	9,27	7,77	3,51	18,14	19,54	5,38	7,24	3,26
20...30	4,73	5,22	3,62	2,95	1,19	3,85	5,62	3,13	3,26	1,14
30...40	1,23	1,46	1,41	0,83	0,45	1,18	1,11	2,29	0,73	0,59
40...50	0,50	0,60	0,84	0,61	0,14	0,56	0,51	1,75	0,45	0,26
50...80	0,47	0,55	0,85	0,67	0,12	0,46	0,29	2,27	0,46	0,12
>80	0,21	0,21	0,53	0,22	0,04	0,15	0,06	0,62	0,26	0,01

Таблица 5

Частота встречаемости величины углового ускорения изменения угла рассогласования ЛВЦ и оптической оси ТВ-канала

Вариант	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Диапазон, мрад/с ²	Вертикальная ось					Горизонтальная ось				
0...50	21,76	20,14	42,62	41,39	69,86	20,99	19,59	52,50	40,55	70,69
50...100	17,04	16,89	18,29	23,89	14,48	17,60	17,25	17,57	24,35	14,44
100...200	26,65	26,35	17,98	18,17	8,54	28,59	27,06	12,07	18,97	7,93
200...300	14,43	14,12	7,19	5,84	2,59	14,71	14,67	3,82	6,25	2,40
300...400	8,04	8,57	3,96	3,06	1,58	7,63	8,31	2,29	2,98	1,40
400...500	4,93	5,89	2,70	2,35	1,00	4,28	5,55	1,69	1,74	1,02
500...1000	5,82	6,51	4,82	3,65	1,59	4,87	6,60	5,02	3,91	1,66
>1000	1,33	1,53	2,44	1,64	0,36	1,34	0,98	5,04	1,24	0,46

чения СКО в среднем и при всех частных подходах для схем 1 и 2 различаются незначительно и лежат в интервале 0,8–3 мрад для позиции с «колена» и 0,9–4,5 мрад в позиции «стоя».

Сравнивая работу с ПУ по третьей и пятой схемам можно сказать, что в режиме сопровождения показатель лучше у пятой схемы — 0,25 мрад рассогласование по вертикали и 0,07 мрад по горизонтали — чем у третьей (0,70 и 0,36 мрад соответственно), тогда как в ручном режиме в третьей схеме средние значения ближе к нулю, чем в пятой (0,04 и 0,02 мрад против 0,17 и 0,17 мрад). СКО имеет меньшие значения в схеме 5, что говорит о лучшей устойчивости станка при выстреле. В частных подходах большие отклонения прицельной марки чаще наблюдаются при работе в автоматическом режиме, что объясняется люфтом и нежесткостью в редукторах, предназначенных для широкого потребления. Для четвертой схемы средняя величина рассогласования имеет значения: 0,84 мрад по вертикальной оси и 0,78 мрад по горизонтальной в позиции «стоя» и 0,35 и 0,05 мрад соответственно в позиции «с колена». При работе по третьей схеме в режиме «автосопровождения» в части опытов наблюдаются большие значения СКО, что обусловлено значительными колебаниями при выстреле. Можно выделить два диапазона значений СКО 0,25–2,1 мрад и 3,0–7,92 мрад для опытов с большими колебаниями, составляющими примерно 30% опытов. В опытах с пятой схемой большая часть значений СКО (85%) лежит в интервале 0,21–1,23 мрад, при больших колебаниях при выстреле СКО лежит в интервале 1,6–5,72 мрад. При работе с четвертой схемой более половины значений СКО лежит в интервале 2,58–6,26 мрад.

Опираясь на статистический анализ экспериментальных данных можно утверждать, что большая часть полученных результатов укладывается в установленные в [1] диапазоны, обеспечивая потребные величины отклонения луча в вертикальном и горизонтальном каналах на-

ведения не более ± 6 мрад, а по угловой скорости и угловому ускорению не более 80 мрад/с и 1000 мрад/с² соответственно (табл. 4, 5).

Исходя из представленных результатов, предпочтительными являются в совокупности вторая и пятая схемы, поскольку обеспечивают минимальные требования к системе отклонения луча и ТАС.

Для оценки вклада, который вносят возмущения, имитирующие откатную и накатную составляющие от срабатывания ИСВ, в качество сопровождения цели оператором проведено сравнение с результатами предшествующих испытаний [1]. В результате было выявлено снижение точности сопровождения цели оператором. В табл. 6 указано уменьшение относительно [1] количества измерений, укладываемых в указанные выше интервалы, в процентах. При стрельбе изделием, также возможно увеличение амплитуды колебаний и, соответственно, время затухания колебаний также становится больше. Следует отметить, что операторы быстро адаптируются к шумовому воздействию и оно практически не влияет на точность наведения.

В ходе проведенных испытаний было установлено, что предпочтительными с точки зрения работы ТАС являются первая и пятая схемы. В табл. 7 представлены данные о количестве срывов сопровождения цели ТАС, в число которых отнесены расползание строба и его сползание с цели.

Оценка каждого из подходов в системе «попадание/промах» позволила определить число успешных сопровождений цели, в ходе которых ни на одном из кадров (частота съёмки — 50 кадр./с) не были превышены определённые в [1] параметры работы системы стабилизации луча (табл. 8). Исходя из представленных данных, наилучшую точность стрельбы обеспечивают в совокупности вторая и пятая схемы.

Исходя из анализа экспериментальных данных, были сделаны следующие выводы.

Таблица 6

Процентная разница результатов испытаний

Характеристика	Позиция		
	с плеча	со станка с ПДН	со станка без ПДН
Угол, %	3	4	9
Угловая скорость, %	0,5	0,5	0,5
Угловое ускорение, %	1,5	2,5	3

Таблица 7

Частота срывов сопровождения цели ТАС

Схема	1	2	3	4	5
Частота срыва	59	63	24	30	14

Таблица 8

Частоты успешного сопровождения цели ТАС

Схема	1	2	3	4	5
Частоты попаданий	68,6	77,5	74,2	65,0	95,7

Таблица 9

Повышение точности при увеличении угла отклонения

Угол отклонения, мрад	± 12		± 13		± 14		± 15	
Схема	1	2	1	2	1	2	1	2
Точность попаданий, %	78	73	92	95	95	95	100	100

1. Выбор компоновочной схемы для стрельбы с плеча затруднителен: первая схема позволяет достигнуть лучшей точности стрельбы, однако он обладает худшими эксплуатационными характеристиками, поскольку требует наличия проводной линии связи с ПУ, а вторая схема лучше с точки зрения эксплуатации, но хуже по критерию точности стрельбы. Увеличение количества попаданий может быть достигнуто путем увеличения угла отклонения луча в ППН. Исходя из полученных результатов, увеличение угла с ± 6 мрад до $\pm 12...15$ мрад дает показатели попаданий для первой и второй схем приведенные в табл. 9.

2. Для стрельбы с ПУ наиболее предпочтительной является пятая схема, обеспечивающая большую точность стрельбы и имеющая более жёсткую конструкцию. Высота линии ведения огня может быть увеличена посредством стрельбы с возвышенности, либо путём использования лёгкой проставки между мотор-редукторами горизонтального и вертикального наведения, в которой могут храниться кабели, ЗИП и т.д. В то же время, повышение линии ведения огня может снизить жёсткость конструкции, а большие масса и инертность ППУ значительно повышают нагрузку на электропривод, что негативно отражается на его массе и энергопотреблении. При этом точностные показатели третьей схемы могут быть улучшены посредством совершенствования привода наведения и опорной треноги в части снижения люфтов и повышения жёсткости. При этом можно однозначно говорить об отсутствии целесообразности в дальнейших работах по четвертой схеме.

3. В совокупности, наилучшие точность стрельбы и условия для функционирования ТАС обеспечивают второй и пятой схемами.

4. Для достоверной оценки возможностей третьей и пятой схем необходимо разработать

и изготовить более жёсткий станок и электропривод, обеспечивающий большую жёсткость и меньший люфт, после чего эксперименты с использованием станка следует повторить.

Литература

1. Гусев А.В. Структурный синтез носимого ракетного комплекса / А.В. Гусев, М.В. Рындин, А.И. Дикшев, А.В. Горин // Известия РАН. 2016. Вып.4 (94). С. 148–154.
2. Шипунов А.Г. Концепция идеального оружия / А. Г. Шипунов [и др.] // Известия ТулГУ. 2014. Вып. 6. С. 183–195.
3. Шипунов А. Г. Патент РФ № 2701629. Комплекс вооружения для стрельбы с плеча / А.Г. Шипунов [и др.]. Оpubл. 30.09.2020 г. Бюл. № 28.
4. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион. — М.: Мир. 1981. 520 с.
5. Боровков А.А. Математическая статистика / А.А. Боровков. — М.: ФИЗМАТЛИТ. 1984. 472 с.
6. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Справочник / М.Н. Степнов. — М.: Машиностроение. 1985. 232 с.
7. Леман Э. Проверка статистических гипотез / Э. Леман. — М.: Наука. 1979. 408 с.
8. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. — М.: Мир. 1980. 612 с.
9. Хохлов Н.И. Эффективность, надежность и испытания оружия и систем вооружения / Н.И. Хохлов, М.В. Грязев, А.В. Игнатов, В.П. Танаев, Н.Е. Стариков. — Тула: Изд-во ТулГУ. 2016. 268 с.