

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА И СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ С ИНДИКАЦИЕЙ ЦЕЛЕЙ ДЛЯ ОБРАЗЦОВ БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ

При проведении научных исследований решалась задача, заключающаяся в обеспечении многоцелевого и точного внешнего целеуказания в реальном масштабе времени как по находящимся в зоне прямой видимости, так и за ее пределами и укрытиями целям и важным объектам. При этом достигнута минимальная зависимость результата внешнего целеуказания от сложности фоноцелевой обстановки, интенсивности боя, а также качеств и подготовки экипажа боевой машины. Особенность данного способа заключается в применении математической модели цифровой видеокамеры для описания оптико-электронных каналов современных прицелов бронетанкового вооружения.

**Ключевые слова:** целеуказание, поиск цели, цифровое изображение объекта, обработка информации, прицел, цифровая видеокамера.

Модернизация и разработка новых образцов бронетанкового вооружения (БТВ) неминуемо связаны с появлением новых более совершенных, развитых, высокоавтоматизированных систем управления огнём, эффективность которых определяется в том числе и тем, сколько времени тратится на разведку, обнаружение целей и подготовку выстрелов. В свою очередь, время на данные этапы подготовки к огневому воздействию в значительной степени определяется применяемым способом целеуказания.

Можно разделить способы внутреннего и внешнего целеуказания. Под способами внутреннего целеуказания понимаются процессы получения, обработки и передачи информации о целях и важных объектах в системе «обнаруживший-стреляющий», когда обнаруживший и стреляющий являются членами одного экипажа. Способы внешнего целеуказания (ВЦУ), наоборот, характеризуются тем, что информация о целях и важных объектах поступает извне, от другого образца БТВ, например, командирской боевой машины (БМ), а также системы разведки, системы управления боем и т.д.

В настоящее время существующими способами ВЦУ, применяемыми на образцах БТВ, являются «контрастно-визуальный», «контрастно-лучевой», «ориентирный» и «координатный» способы [1–3].

Проведённый анализ показывает, что наиболее значимыми их недостатками является не-

обходимость проведения визуального поиска и обнаружения каждой цели и важного объекта через прицелы и приборы наблюдения образца БТВ. Причём, если на знакомой местности и при сравнительно невысокой интенсивности боя у экипажа на каждую цель может уходить от единиц до десятка секунд [4] при условии, что цель имеет чёткий контраст с местностью, то в сложной фоноцелевой обстановке на незнакомой местности при интенсивном бое на каждую цель может тратиться время, измеряемое минутами. Заметим ещё один недостаток, заключающийся в том, что даже с учётом автоматической передачи информации по цели и «подсвечиванием» её положения на цифровой карте графического планшета (такой функционал на сегодня реализован в Единой системе управления тактическим звеном (ЕСУ ТЗ)) [5, 6], время поиска и обнаружения цели для дальнейшего её поражения зависит от субъективных качеств, слаженности и подготовки членов экипажа БМ. При этом если оператор, например командир образца БТВ, неpravильно ориентируется на местности, то достаточно высока вероятность допущения ошибки при выборе «подсвеченной» цели для поражения.

Таким образом, актуальной научной задачей при совершенствовании систем целеуказания образцов БТВ можно указать обеспечение многоцелевого и точного ВЦУ в реальном масштабе времени как по находящимся в зоне прямой видимости, так и за её пределами, а также укрыти-

ями целям и важным объектам при минимальной зависимости результата целеуказания от сложности фоноцелевой обстановки, интенсивности боя, личных качеств и подготовки экипажа бронемашин.

По мнению авторов, один из наиболее эффективных вариантов решения данной задачи заключается в осуществлении такого целеуказания «координатным» способом, при котором все цели и важные объекты будут кроме цифровой карты графического планшета (отображения навигационной и тактической информации) ещё дополнительно выделяться непосредственно в полях зрения (на экранах видеосмотровых устройств (ВСУ)) прицелов и приборов наблюдения образцов БТВ. Тем самым будут минимизированы области поиска целей и важных объектов оператором на изображениях прицелов и приборов наблюдения.

Прицелы современных образцов бронетанкового вооружения, как правило, имеют оптико-электронную часть, предназначенную для преобразования невидимого для человеческого глаза излучения в электрический сигнал, на основании которого затем формируется видимое для оператора изображение. На сегодняшний день в составе прицелов бронетанкового вооружения наиболее распространены тепловизионные оптико-электронные части (тепловизоры), также активно применяются приборы ночного видения и телевизионные камеры.

При этом независимо от спектрального диапазона, в котором работает прицел, любая его оптико-электронная часть имеет объектив, предназначенный для формирования резкого изображения, и фотоприёмное устройство (ФПУ) для преобразования излучения в электрический сигнал. В современном исполнении роль ФПУ как правило выполняют фотоматрицы, например, ПЗС, ПЗИ или болометрические.

Это позволяет к оптико-электронной части любого прицела применить математическую модель цифровой видеокamеры [7–10], сущность которой заключается в том, что за счёт отождествления цифрового изображения с реальным физическим изображением, сфокусированным объективом камеры в задней фокальной плоскости на ФПУ, определена математическая связь между трёхмерными координатами объекта во внешней системе координат (СК) с пиксельной СК цифрового изображения камеры.

При этом математическая модель позволяет осуществлять переход как из внешней СК к пиксельной СК, так и наоборот. В случае, если внешнюю СК отождествить с СК, в которой определены координаты цели, проведение определённых преобразований позволит рассчитать, где на изображении прицела должно находиться её изображение. Соответственно, или цель, или важный объект могут быть выделены соответствующими графическими маркерами, обозначающими их местоположение на изображении, и существенно сужающие области визуального поиска оператором.

Пример такого выделения показан на чертеже (рис. 1), где представлен вариант внешнего вида некоторого прицела, его видеосмотрового устройства (ВСУ) и графического планшета (ото-

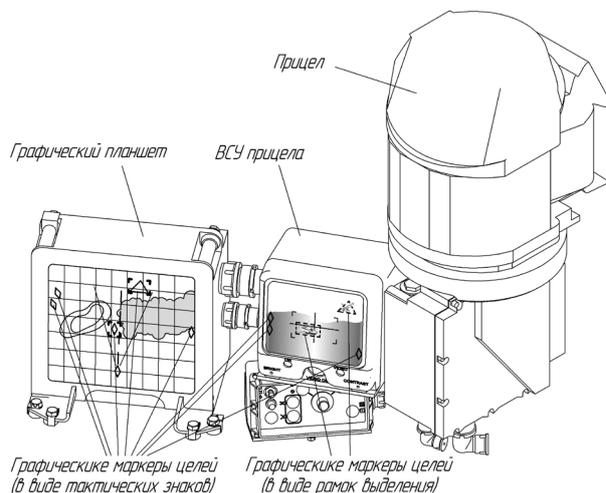


Рис. 1. Иллюстрация выделения объектов на графическом планшете и экране видеосмотрового устройства прицела

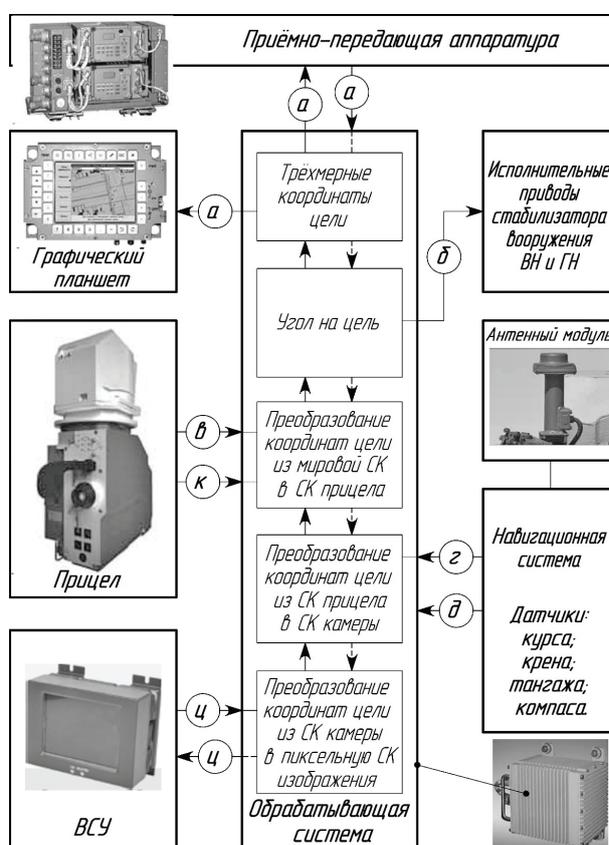


Рис. 2. Структура системы целеуказания

бражения тактической и навигационной информации). Иллюстрируется отображение фоноцелевой обстановки на цифровой карте планшета, отображение графических маркеров выделения целей и важных объектов на экране ВСУ. При этом если цели или важные объекты находятся за пределами поля зрения прицела, то информация о них может выводиться по краям изображения ВСУ в уменьшенном виде, например, в виде тактических знаков.

Для реализации такого варианта ВСУ с индикацией целей на экране ВСУ была предложена структура системы целеуказания (рис. 2). Как

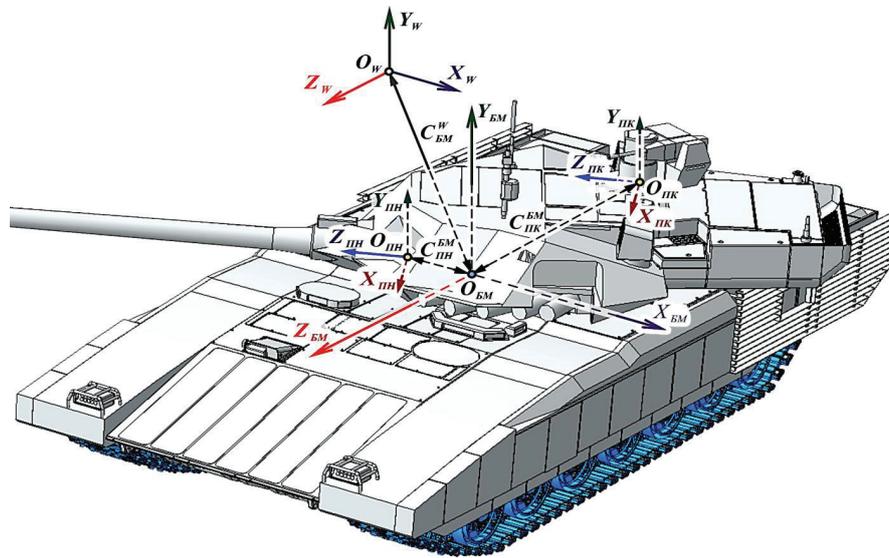


Рис. 3. Взаимосвязь систем координат

видно из представленной схемы, центральным звеном системы целеуказания является обрабатывающая система, в роли которой может быть использован, например, ноутбук или персональный компьютер (рабочая станция).

Обрабатывающая система должна обеспечивать выбор: оператором изображений и/или ввод команд обработки; приём изображений (сигнал «к») с камер прицелов; дальнейшую их автоматическую обработку с вычислением положения графических маркеров на цифровой карте местности графического планшета (отображение навигационной и тактической информации) и в полях зрения прицелов (сигнал «ц»), а также выработку соответствующих сигналов наведения для каналов вертикального и горизонтального наведения (ВН и ГН) стабилизатора вооружения (сигнал «б»).

Кроме этого, система должна обеспечивать приём и обработку сигналов с навигационной системы (сигнал «г»), датчиков углов прицелов (сигнал «в»), датчиков курса, крена и тангажа, а также с датчика компаса (сигнал «g»), а также приём и передачу сигналов с информацией о координатах целей на приёмно-передающую аппаратуру и графический планшет (сигнал «а»).

Обрабатывающая система может быть выполнена как отдельное (съёмное) оборудование для ВЦУ, а также может быть встроена в систему управления огнём (СУО) или комплекс вооружения и являться, например, частью прицельно-наблюдательного комплекса СУО образца БТВ. Обрабатывающая система должна содержать исполняемые модули или команды с возможностью выполнения по меньшей мере одним процессором; память для хранения данных, пользовательский интерфейс, содержащий один или несколько дисплеев, таких как жидкокристаллические мониторы для просмотра видеоданных и устройство управления и ввода данных, такое как клавиатура или указательное устройство (например, манипулятор типа «мышь», шаровой указатель, стилус, сенсорная панель или другое устройство), для обеспечения взаимодействия пользователя (оператора) с видеоданными.

В качестве дисплеев также могут использоваться ВСУ прицела и графический планшет отображения навигационной и тактической информации образца БТВ.

Введение сигналов управления с обрабатывающей системы в приводы ВН и ГН стабилизатора вооружения СУО может быть реализовано путём подачи этих сигналов в блок управления стабилизатора вооружения или непосредственно в цепи пультов управления наводчика или командира в режиме дублирования.

Для реализации предлагаемой системы ВЦУ в обрабатывающую систему должно быть обеспечено введение следующей информации:

- с датчика компаса принимают данные (угол  $\alpha_{БМ}^N$ ) об ориентации оси  $O_{БМ}Z_{БМ}$  СК БМ относительно направления на север;

- с датчиков, курса, тангажа и крена БМ принимают данные, содержащие значения углов (соответственно  $\alpha_{БМ}^W, \beta_{БМ}^W$  и  $\varphi_{БМ}^W$ ) ориентации осей СК башни БМ относительно осей внешней СК  $W$ , где  $\alpha_{БМ}^W, \beta_{БМ}^W$  и  $\varphi_{БМ}^W$  — углы ориентации СК башни БМ в горизонтальной плоскости относительно мировой СК  $W$ ;

- с датчиков прицелов принимают данные о действующих значениях фокусных расстояний  $f_j$  объективов камер  $j$ -ых прицелов БМ, данных датчиков угла об ориентации головных блоков прицелов (если прицелы имеют модульную конструкцию) или рам головных зеркал (если прицелы имеют перископическую конструкцию) в горизонтальной плоскости  $\alpha_j^K$  и данные об ориентации головных блоков прицелов с камерами (если они имеют модульную конструкцию) или головных зеркал (если прицелы имеют перископическую конструкцию) в вертикальной плоскости  $\beta_j^K$ ;

- из памяти обрабатывающей системы принимают данные: о внутренних параметрах камер прицелов, а именно значения горизонтальных и вертикальных разрешений фотоприёмных устройств в горизонтальной и вертикальной плоскостях; расстояние между геометрическими центрами фотоприёмных устройств и центрами изображений, формируемых объективами камер

прицелов в горизонтальной и вертикальной плоскостях; физические размеры фотоячеек (пикселей) фотоприёмных устройств камер прицелов соответственно, в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также данные о положениях и ориентациях СК оснований  $j$ -ых прицелов относительно СК БМ; а также данные о координатах положения камеры и вспомогательных (дополнительных, промежуточных) СК прицелов.

Взаимосвязь внешней СК с СК БМ и прицелов иллюстрируется на схеме (рис. 3).

Под СК камеры понимают СК  $O_j^k X_j^k Y_j^k Z_j^k$  начало которой  $O_j^k$  располагается в оптическом центре объектива камеры  $K_j$ , ось  $Z_j^k$  которой направим вдоль оптической оси объектива, ось  $X_j^k$  — вдоль строк, а ось  $Y_j^k$  — вдоль столбцов ФПУ, при этом плоскость  $X_j^k Y_j^k$  должна быть параллельна плоскостям размещения ФПУ и изображения.

Под СК  $j$ -го прицела, например прицела наводчика ( $j=ПН$ ) или прицела командира ( $j=ПК$ ) (рис. 3), понимается СК  $O_j X_j Y_j Z_j$  жёстко связанная с его основанием, которым прицел закрепляется на образце БТВ.

Для описания положения камеры в  $j$ -ом прицеле может быть применена матрица положения (евклидово преобразование)  $C_j^k$

$$C_j^k = \left( \begin{array}{c|c} R_j^k & [0 \ 0 \ 0]^T \\ \hline T_j^k & 1 \end{array} \right), \quad (1)$$

где  $R_j^k$  — матрица поворота размерностью  $3 \times 3$ , рассчитываемая по количеству пространственных поворотов СК  $O_j^k X_j^k Y_j^k Z_j^k$  камеры относительно СК  $O_j X_j Y_j Z_j$  основания  $j$ -го прицела;  $T_j^k$  — вектор переноса, содержащий трёхмерные координаты начала СК  $O_j^k X_j^k Y_j^k Z_j^k$  камеры относительно СК  $O_j X_j Y_j Z_j$  основания  $j$ -го прицела.

Положение каждого прицела также может быть описано соответствующими матрицами положения  $C_j^{БМ}$ , определяющими положение и ориентацию СК  $O_j X_j Y_j Z_j$  основания  $j$ -ых прицелов относительно СК БМ  $O_{БМ} X_{БМ} Y_{БМ} Z_{БМ}$ .

В целом, значения  $C_j^k$  и  $C_j^{БМ}$  определяются из технической документации на прицелы и по значениям датчиков поворота. Но при этом порядок расчёта данных коэффициентов будет определяться ещё и конструктивным исполнением прицела.

СК БМ  $O_{БМ} X_{БМ} Y_{БМ} Z_{БМ}$  связана с центром вращения башни танка в плоскости её погона (рис. 3). Ось  $O_{БМ} Z_{БМ}$  направлена вдоль корпуса, ось  $O_{БМ} Y_{БМ}$  — вертикально вверх, а ось  $O_{БМ} X_{БМ}$  — в сторону левого бронелиста. В результате плоскость  $O_{БМ} X_{БМ} Z_{БМ}$  должна быть параллельна горизонтальной плоскости корпуса БМ. Положение и ориентация СК БМ  $O_{БМ} X_{БМ} Y_{БМ} Z_{БМ}$  могут быть определены матрицей положения  $C_{БМ}^W$ , содержащей, в свою очередь, матрицу поворота  $R_{БМ}^W$  и вектор переноса  $T_{БМ}^W$ . При этом координаты вектора переноса  $T_{БМ}^W$  задаются по данным с навигационной системы и определяют положения начала СК БМ  $O_{БМ} X_{БМ} Y_{БМ} Z_{БМ}$ , а для определения ориентации осей СК БМ используют данные с датчика компаса и датчиков курса, крена и тангажа БМ. При этом датчик курса даст сигнал с углом  $\alpha_{БМ}^W$ , а датчик компаса — сигнал с углом

$\alpha_{БМ}^N$ , сумма которых определит текущую ориентацию оси  $O_{БМ} Z_{БМ}$  относительно направления на север. Датчик крена — сигнал по ориентации оси  $O_{БМ} X_{БМ}$  (угол  $\beta_{БМ}^W$ ), а датчик крена — сигнал по ориентации оси  $O_{БМ} Y_{БМ}$  (угол  $\phi_{БМ}^W$ ) в СК  $W$ . При последовательности вычисления матрицы ориентации  $R_{БМ}^W$  должно определяться размещением датчиков курса, крена и тангажа, например, в заявленном способе принято, что пространственные углы задаются в следующей последовательности  $(\alpha_{БМ}^W + \alpha_{БМ}^N) \rightarrow \beta_{БМ}^W \rightarrow \phi_{БМ}^W$ .

При реализации предложенной схемы ВЦУ (рис. 2), принятых обозначений и размещений СК, сам способ проведения ВЦУ может включать в общем следующую последовательность вычислений:

1) при приёме целеуказания принимают от внешнего источника (другой БМ звена, например, командирской, или системы управления звеном, системы или средства разведки) данные о целеуказании, содержащие, по крайней мере, трёхмерные координаты целей и важных объектов (относительно начала внешней СК) и их типы (например, бронееобъект, танкоопасная живая сила, низколетящая малоподвижная цель и т.п.). Кроме этого, могут быть получены данные о направлениях их движения и скоростях во внешней СК, времени последнего обновления информации о цели или важном объекте т.п.;

2) по координатам цели и боевой машины определяют направление (угол) на цель;

3) преобразуют координаты цели из внешней СК через СК БМ в СК  $j$ -го прицела;

4) преобразование координат цели из СК прицела в пиксельную СК изображения, получаемого с его камеры;

5) отображение на экране ВСУ графических маркеров, соответствующих типу цели, например, в форме рамки, выделяющей местоположение изображения цели в поле зрения  $j$ -го прицела, как показано на чертежах (рис. 1). При этом если пиксельные координаты цели или важного объекта выходят за границы изображения, то графический маркер отображают на ВСУ в уменьшенном размере, например, в форме тактического знака вдоль края изображения в той строке или столбце, которые своими значениями не вышли на границы изображения.

При передаче ВЦУ обнаруженные цели или важные объекты указывают на экране ВСУ  $j$ -го прицела, например, путём наведения центральной прицельной марки на цель или объект и подачей команды на передачу цели. Другим вариантом выделения цели может быть указание области на экране ВСУ местоположения цели или важного объекта, если ВСУ имеет сенсорный дисплей. В любом случае по номеру столбца и номеру строки, соответствующим изображению цели или важного объекта на изображении, и отображают соответствующий графический маркер на экране ВСУ  $j$ -го прицела. Все следующие мероприятия осуществляют в обратном порядке. В результате одновременно отображают соответствующие графические маркеры (тактические знаки) на цифровую карту местности графического планшета (отображения навигационной и тактической информации) и передают координаты цели на передающую

аппаратуру для дальнейшей передачи, например, на другие БМ звена, систему управления тактическим звеном, систему разведки и т.п.

Реализация такого подхода к ВЦУ позволяет получить следующие результаты:

1) значительное сокращение времени на поиск и обнаружение целей через прицелы и приборы наблюдения образца БТВ при приёме ВЦУ;

2) сокращение времени на передачу ВЦУ на другие объекты или/и систему управления боем и т.п.;

3) возможность указывать непосредственно в полях зрения прицелов и приборов наблюдения не только цели, но и прочие важные объекты, а также районы сосредоточения, районы развёртывания колонн, места нахождения пунктов управления и прочую тактическую информацию;

4) возможность проведения ВЦУ целей и важных объектов, которые находятся за пределами визуальной видимости. Это позволяет проводить целеуказание до выхода подразделения БТВ на огневой рубеж и, соответственно, заранее перегруппироваться согласно целевой обстановке. Кроме того, может быть осуществлено целераспределение и зарядание согласно типам поражаемых целей, что позволит при выходе на поле боя не тратить драгоценное время на поиск и обнаружение целей, а сразу приступить к их поражению.

Дополнительным результатом можно указать простоту и наглядность приёма и передачи целеуказания для членов экипажа образца БТВ, что снижает требования к их уровню обученности. А также то, что вывод необходимой тактической информации непосредственно в поле зрения прицела (экран ВСУ) может существенно помогать командирам БМ лучше ориентироваться на незнакомой местности.

#### Библиографический список

1. Ширман Я. Д., Лосев Ю. И., Минервин Н. Н. [и др.]. Радиозлектронные системы: основы построения и теория. М.: ЗАО МАКВИС, 1998. С. 81–88. ISBN 5-93152-001-5.
2. Пат. 2603750 Российская Федерация, МПК F 41 G 3/00. Способ управления огнем бронетанковой техники / Климовский С. И., Фадеев А. В., Кондраков А. А. № 2014141472/12; заявл. 14.10.14 ; опубл. 27.11.16, Бюл. № 33.
3. Кирнос В. И., Зубарь А. В., Кунаев И. В. Анализ способов внешнего целеуказания для образцов бронетанкового вооружения // Наука и военная безопасность. 2018. № 4 (15). С. 27–36.
4. Голуб Г. Г., Домбровский Ю. К., Заславский Е. И. [и др.]. Экспериментальное исследование боевой работы экипажа танка, оснащенного системами дублированного

управления огнем и вождением // Вестник бронетанковой техники. 1977. № 5. С. 3–12.

5. Костяев Н. И., Кучаров В. Н. Единая система управления в тактическом звене // Армейский сборник. 2011. Март. С. 18–23.

6. Медведев А. В., Гринкевич А. В., Князева С. Н. Практика конструктора оптико-электронной техники: моногр. Ростов-Великий: ОАО Ростовский оптико-механический завод, 2015. Ч. 5. С. 850–856. ISBN 978-5-9901789-5-3.

7. Зубарь А. В. Оптико-электронная система определения параметров целей. Теоретические основы построения: моногр. Омск: ОАБИИ, 2018. С. 32–50. ISBN 978-5-600-01959-1.

8. Зубарь А. В., Кирнос В. И., Пивоваров В. П. Математическая модель цифрового оптико-электронного видеоканала как элемента системы технического зрения // Современное состояние и перспективы развития специальных систем радиосвязи и радиоуправления: сб. докл. Всерос. юбил. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию образования Омского науч.-исслед. ин-та приборостроения, 3–5 октября 2018 г. / ОНИИП. Омск, 2018. С. 225–232.

9. Зубарь А. В., Кайков К. В., Гейнце Э. А. Математическая модель прицела перископического типа как элемента системы технического зрения // Вестник Сибирского отделения АВН. 2017. № 46. С. 121–126.

10. Расширение функциональных возможностей систем управления огнём новых образцов бронетанкового вооружения: отчёт о НИР «Стрекоза» / ОАБИИ; рук. Зубарь А. В.; исполн. Пивоваров В. П., Алферов С. В., Кайков К. В., Волошин С. Н. Омск, 2016. 136 с. Инв. № 61037.

**КИРНОС Василий Иванович**, адъюнкт кафедры «Электрооборудование и автоматика».

Адрес для переписки: vasilij\_87@list.ru

**ЗУБАРЬ Алексей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматика».

SPIN-код: 3175-2192

AuthorID (РИНЦ): 755300

Адрес для переписки: alexey\_zubar@mail.ru

**КУНАЕВ Иван Владимирович**, заместитель командира взвода.

#### Для цитирования

Кирнос В. И., Зубарь А. В., Кунаев И. В. Разработка способа и системы внешнего целеуказания с индикацией целей для образцов бронетанкового вооружения // Омский научный вестник. 2019. № 1 (163). С. 62–66. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-163-62-66.

Статья поступила в редакцию 24.12.2018 г.

© В. И. Кирнос, А. В. Зубарь, И. В. Кунаев