

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ

В статье дан краткий анализ существующих способов внутреннего целеуказания, применяемых на существующих образцах бронетанкового вооружения. Предложен способ внутреннего целеуказания и индикации целей, основанный на математическом описании взаимосвязи между координатами изображения объекта в поле зрения прицела и его трехмерными координатами во внешней (мировой) системе координат.

Ключевые слова: целеуказание, цифровое изображение, прицел, цифровая видеокамера, бронетанковое вооружение.

Модернизация и разработка новых объектов бронетанкового вооружения (ОБТВ) неминуемо связаны с появлением новых, более совершенных, развитых, высокоавтоматизированных систем управления огнем (СУО), 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. Различают способы внутреннего и внешнего целеуказания [1–5].

Под способами внутреннего целеуказания (ВнЦУ) 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, наоборот, характеризуются тем, что информация о целях и важных объектах поступает извне, от другого ОБТВ, например, командирской бронемашин (БМ), а также системы разведки, системы управления звеном, и т.д.

В настоящее время существующими способами ВнЦУ, применяемыми на ОБТВ, являются «ориентирный», «полуавтоматический» и «автоматический» способы.

Сущность «ориентирного» способа заключается в определении направления на цель или важный объект командиром для наводчика относительно корпуса БМ [4–6]. При этом направление на цель или важный объект задаётся от хорошо заметных ориентиров на местности, по часам, а также от направления движения БМ (например, по азимутальному указателю) и т.п. Как правило для осуществления данного способа команды целеуказания передаются голосом или по радиоканалу.

Недостатками «ориентирного» способа ВнЦУ являются:

- низкая пропускная способность в связи с подачей команд голосом;
- зависимость временных затрат на приём целеуказания от обученности и выучки экипажа БМ;
- необходимость после проведения ВнЦУ командиром БМ на каждую цель или важный объект осуществления их поиска, обнаружения в поле зрения прицела наводчиком и наведения вооружения.

На сегодня практически на всех отечественных ОБТВ применяется «полуавтоматический» способ ВнЦУ [7, 8]. Сущность данного способа заключается в наведении командиром БМ центральной прицельной марки (ЦПМ) своего прицела на цель и подачей сигнала на целеуказание, при этом командирская башенка (люк) стопорится на корпус танка, а на привод горизонтального наведения подаётся сигнал наведения. За окончание ВнЦУ принимается момент прекращения подачи командиром сигнала на целеуказание, или момент срабатывания датчика согласования, означающий, что башня танка развернулась в сторону цели до согласования линии визирования наводчика с направлением на цель, указанным командиром. После этого управление башней снова передаётся наводчику, а командир БМ может далее продолжать разведку поля боя.

Недостатки «полуавтоматического» способа ВнЦУ заключаются в следующем:

- в данном способе не учтён параллакс между прицелами командира и наводчика, из-за чего наводчику необходимо в ручном режиме «донаводить» ЦПМ своего прицела на цель в горизонтальной плоскости;
- целеуказание проводится только в горизонтальной плоскости, в вертикальной плоскости наводчик наводит ЦПМ на цель в ручном режиме;

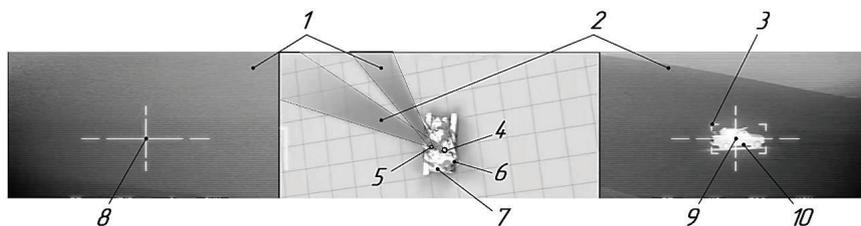


Рис. 1. Этап 1 (захват цели командиром танка)

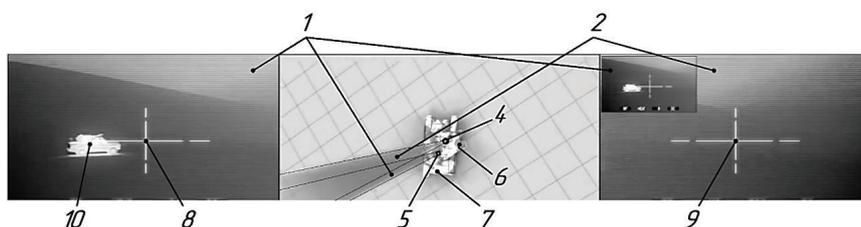


Рис. 2. Этап 2 (разворот башни танка в сторону цели)

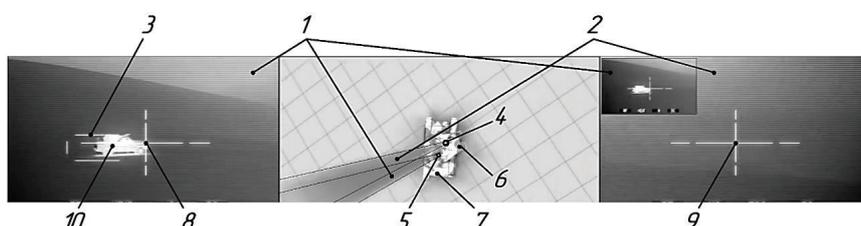


Рис. 3. Этап 3 (начало автосопровождения прицелом наводчика-оператора)

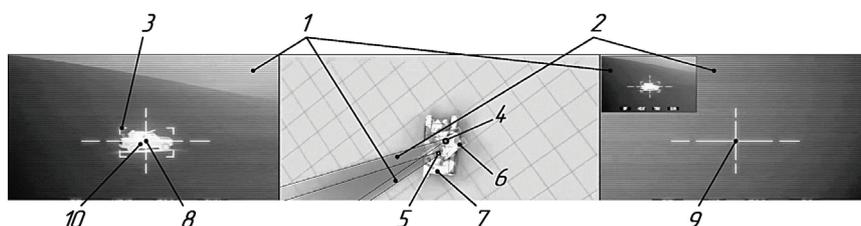


Рис. 4. Этап 4 (точное наведение вооружения на указанную цель)

— при целеуказании данным способом предусмотрено стопорение командирской башенки (люка) на корпус БМ, что снижает точность целеуказания при малоскоростном маневрировании БМ, а при интенсивном маневрировании делает целеуказание вовсе невозможным.

Более совершенной версией «полуавтоматического» способа является способ, применяемый на БМД-4М. Суть реализованных технических решений при проведении ВнЦУ боевой машины заключается в том, что при проведении целеуказания от командирской панорамы на прицел наводчика башня не стопорится. Сигнал управления на приводы горизонтального наведения вырабатывается за счёт разности показаний датчиков ориентации относительно башни привода командирской панорамы и ориентации башни относительно корпуса боевой машины. Такой подход позволяет проводить более точное целеуказание при маневрировании в бою, но при этом основные недостатки «полуавтоматического» способа сохраняются.

Наиболее совершенным в настоящее время является «автоматический» способ ВнЦУ. Данный способ основывается на применении автомата сопровождения целей (АСЦ). На сегодняшний день

этот способ более известен в качестве реализации режима «охотник-стрелок» на современных ОБТВ [9]. Сущность его заключается в том (рис. 1), что после обнаружения и распознавания цели 10 командир наводит на неё ЦПМ 9 своего прицела 4 и подаёт команды на целеуказание и на захват цели в АСЦ. При этом на приводы башни 6 ОБТВ подаётся сигнал наведения, и она начинает вращаться (рис. 2) в сторону заданного командирским прицелом 4 направления. А сам командирский прицел 4 поворачивается относительно вращающейся башни 6 под действием сигналов с АСЦ, удерживая свою ЦПМ 9 на находящейся в рамке захвата 3 цели 10 (рис. 3). По сигналу с датчика наведения, т.е. в момент согласования действующей оси канала ствола с направлением на цель 10, указанным командиром, АСЦ переключается на прицел наводчика, продолжая её автосопровождение (рис. 4). Тем самым обеспечивается точное наведение ЦПМ 8 прицела наводчика на указанную цель 10. После чего целеуказание считается завершённым, командир БМ может далее проводить разведку поля боя.

Применение АСЦ в данном способе ВнЦУ позволило нивелировать практически все имевшие ранее место недостатки, но вместе с тем:

— данный способ не может быть применён на ОБТВ, на которых не установлен АСЦ, а также при неисправном АСЦ или в случаях, когда АСЦ не может выполнять задачу по захвату цели и её автоматическому сопровождению, например, из-за её малой контрастности, ниже минимальной пороговой для надёжного её захвата;

— при поступлении командиру целеуказания в виде координат целей от другого ОБТВ, например, командирской БМ, системы разведки, системы управления звеном, командир должен сначала осуществить визуальный поиск, обнаружение и распознавание этих целей, а только затем проводить ВнЦУ наводчику.

Таким образом основными направлениями при совершенствовании ВнЦУ ОБТВ являются:

1. Обеспечение технической возможности реализации режима «автоматического» ВнЦУ на ОБТВ, не имеющих в своём составе АСЦ.

2. Реализация режима «автоматического» ВнЦУ на ОБТВ, оснащённых АСЦ, в случаях выхода АСЦ из строя или при обнаружении целей или объектов, контраст которых (тепловой или визуальный) не позволяет их надёжно захватывать на автосопровождение.

3. Обеспечение для командира ОБТВ возможности проведения целеуказания по целям, поступившим по каналу системы управления боем (в виде типов и координат целей во внешней системе координат) в автоматическом режиме без проведения командиром БМ их визуального поиска, обнаружения и распознавания.

Особенностью ВнЦУ является то, что, в отличие от внешнего целеуказания, обнаружение цели проводится командиром ОБТВ. Для передачи целеуказания на прицел наводчика нет необходимости задействовать навигационную систему, так как порядок вычисления положения цели относительно прицела наводчика может быть реализован только относительно системы координат бронемашины. Саму же систему координат (СК) БМ в данном случае можно рассматривать как начальную.

Таким образом, для осуществления ВнЦУ исходной информацией является:

— данные с датчиков прицелов с текущими значениями фокусного расстояния объективов при-

целов f_j , и датчиков ориентации головных зеркал в горизонтальной α_j^k и вертикальной β_j^k плоскостях наведения;

— данные из памяти обрабатывающей системы о внутренних параметрах камер j -ых прицелов, а именно горизонтальное и вертикальное разрешение N_j и M_j фотоприёмных устройств, а также горизонтальные и вертикальные размеры пикселей l_{PIX}^X и l_{PIX}^Y , положения и ориентации СК оснований j -ых прицелов относительно СК БМ, а также данные о координатах и ориентации эквивалентной камеры в системе координат прицела;

— данные о положении ЦПМ на изображениях j -ых прицелов.

Для проведения ВнЦУ в обрабатывающей системе должны в реальном масштабе времени храниться и вычисляться:

— векторы положения ЦПМ $U_j^{ЦПМ} = (n_j^{ЦПМ} \ m_j^{ЦПМ})^T$, где $n_j^{ЦПМ}$, $m_j^{ЦПМ}$ — пиксельные координаты (номер столбца и строки) положения ЦПМ на изображениях j -ых прицелов;

— матрицы ориентации R_j^k и векторы положения $T_j^k = (0 \ y_j^{ГЗ} \ h_j)^T$, определяющие в совокупности текущие ориентацию и положение СК $O_j^k X_j^k Y_j^k Z_j^k$ камеры j -го прицела относительно СК $O_j X_j Y_j Z_j$ его основания [10];

— векторы $T_{БМ}^j = (x_{БМ}^j \ y_{БМ}^j \ z_{БМ}^j)^T$ положения начала СК $O_j X_j Y_j Z_j$ основания j -го прицела в СК $O_{БМ} X_{БМ} Y_{БМ} Z_{БМ}$ БМ [10].

После обнаружения цели командиром БМ должны быть вычислены её координаты относительно СК БМ. Провести данную операцию можно в несколько этапов. На первом этапе командир наводит на обнаруженную цель ЦПМ своего прицела, в результате пиксельные координаты цели на изображении камеры прицела командира (ПК) становятся равны пиксельным координатам ЦПМ прицела, т.е.

$$U'_{КПК} = U_{ПК}^{ЦПМ} = (n_{ПК}^{ЦПМ} \ m_{ПК}^{ЦПМ})^T. \quad (1)$$

Далее должно быть проведено измерение координаты $z_{КПК}^U$. Данную операцию можно осуществить путём измерения дальности до цели лазерным дальномером ПК или иным другим способом, реализованным на данном ОБТВ.

Применение выражения:

$$U_{КПК} = \begin{pmatrix} (0,5N_{PIX}^X - n_{ПК}^{ЦПМ} l_{PIX}^X) z_{КПК}^U & (0,5M_{PIX}^Y - m_{ПК}^{ЦПМ} l_{PIX}^Y) z_{КПК}^U \\ f_{ПК} & f_{ПК} \end{pmatrix} z_{КПК}^U = \begin{pmatrix} x_{КПК}^U & y_{КПК}^U & z_{КПК}^U \end{pmatrix}^T \quad (2)$$

позволит вычислить оставшиеся координаты $x_{КПК}^U$, $y_{КПК}^U$ цели в трёхмерной СК камеры ПК.

На втором этапе на основании текущего положения и ориентации СК камер в прицелах ПК и прицела наводчика (ПН) (матрицы $R_{ПК}^k$, $R_{ПН}^k$ и векторы $T_{ПК}^k$, $T_{ПН}^k$), положений прицелов ПК и ПН относительно системы координат БМ (векторы $T_{БМ}^{ПК}$ и $T_{БМ}^{ПН}$) осуществляется переход от СК камеры ПК к СК БМ (вектор $U_{БМ}$), а затем от СК БМ к СК камеры ПН (вектор $U_{КПН}$) в соответствии с выражениями

$$U_{БМ} = (R_{ПН}^k)^T U_{КПК} + T_{ПК}^{ГЗ} + T_{БМ}^{ПК} = \begin{pmatrix} x_{БМ}^U & y_{БМ}^U & z_{БМ}^U \end{pmatrix}^T; \quad (3)$$

$$U_{КПН} = (R_{ПН}^k)(U_{БМ} - T_{БМ}^{ПН}) - T_{ПН}^k = \begin{pmatrix} x_{КПН}^U & y_{КПН}^U & z_{КПН}^U \end{pmatrix}^T. \quad (4)$$

На третьем этапе вычисляются углы наведения башни $\alpha_{БМ}^U$ и вооружения $\beta_{БМ}^U$ на указанную цель. При этом так как СК БМ в данном случае считается начальной, то

$$\alpha_{БМ}^U = \arctg(x_{БМ}^U / z_{БМ}^U). \quad (5)$$

$$\beta_{БМ}^U = \arctg(y_{БМ}^U / z_{БМ}^U). \quad (6)$$

По значениям данных углов вырабатываются сигналы управления на приводы стабилизатора вооружения, за счёт чего проводится «грубое»

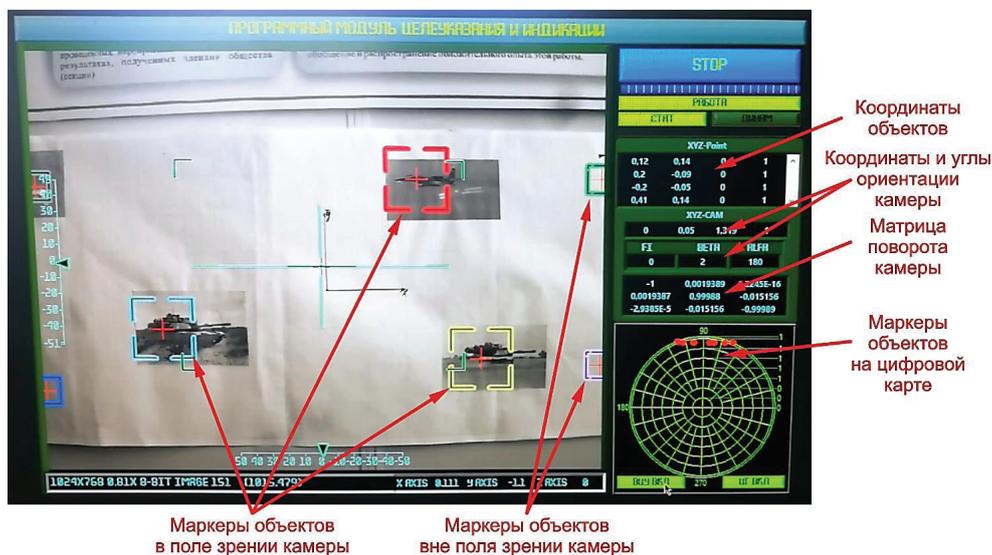


Рис 5. Интерфейс программного модуля целеуказания и индикации

наведение вооружения на указанную командиром цель.

На основании выражения

$$\begin{pmatrix} n_{кпн} \\ m_{кпн} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,5N I_{РХ}^X Z_{кпн}^U - X_{кпн}^U f_{пн} \\ 0,5M I_{РХ}^Y Z_{кпн}^U - Y_{кпн}^U f_{пн} \\ I_{РХ}^Y Z_{кпн}^U \end{pmatrix} \quad (7)$$

вычисляются текущие пиксельные координаты $n_{кпн}$, $m_{кпн}$ изображения цели в кадре видеосмотрового устройства прицела ПН.

В итоге по полученным значениям $n_{кпн}$, $m_{кпн}$ на изображении ПН отображается соответствующий типу цели графический маркер и проводится точное наведение, путём выработки сигналов на приводы стабилизатора вооружения до выполнения условия совмещения ЦПМ ПН с изображением цели, т.е. до выполнения равенства

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} n_{кпн} \\ m_{кпн} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} n_{пн} \\ m_{пн} \end{pmatrix}^T = \\ &= \begin{pmatrix} n_{пн}^{ЦПМ} \\ m_{пн}^{ЦПМ} \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} n_{пн}^{ЦПМ} \\ m_{пн}^{ЦПМ} \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (8)$$

После чего ЦПМ ПН оказывается наведённой на указанную командиром цель (объект), процесс целеуказания считается завершённым.

Для проверки реализуемости основных элементов данного способа ВнЦУ была создана экспериментальная установка, включающая цифровую видеокамеру, на корпус которой монтировался трёхстепенной микромеханический гироскоп — акселерометр, выполняющий роль датчика угла и ЭВМ с «Программным модулем целеуказания и индикации» [11].

Роль внешних объектов (целей) выполняли изображения военной техники, расположенные на плоской сцене на заданных координатах друг относительно друга. Цифровое изображение с камеры и данные с гироскопа передавались в программный модуль, в задачу которого входила обработка полученной информации на основе предлагаемого способа, и динамичная индикация положения этих объектов на выводимом на экран изображении (рис. 5).

Проведённые испытания подтвердили справедливость применённых теоретических положений и правильность полученных зависимостей, показали работоспособность и реализуемость данного способа ВнЦУ.

Таким образом, разработан способ ВнЦУ, заключающийся в том, что порядок передачи цели от командира наводчику реализуется за счёт непосредственного вычисления положения цели на изображении наводчика по данным с прицела командира и датчиков ОБТВ. Данные вычисления основаны на описании текущего взаимного пространственного и углового положений оптико-электронных систем прицелов командира и наводчика в системе координат ОБТВ, в том числе и описания положения системы координат ОБТВ во внешней (мировой) системе координат. Данный способ позволит обеспечить техническую возможность реализации режима «автоматического» ВнЦУ на ОБТВ, не имеющих в своём составе АСЦ, тем самым расширив перечень ОБТВ, на которых возможна реализация данного режима. Кроме этого, реализация режима «автоматического» ВнЦУ предложенным способом на ОБТВ, оснащённых АСЦ, в случаях выхода АСЦ из строя или при обнаружении целей или объектов, контраст которых (тепловой или визуальный) не позволяет их надёжно захватывать на автосопровождение, приведёт непосредственно к повышению надёжности СУО ОБТВ в целом.

Дальнейшим направлением исследования по данной теме является разработка методики оценки точности наведения вооружения разработанным способом.

Библиографический список

1. Кирос В. И., Зубарь А. В., Кунаев И. В. Анализ способов внешнего целеуказания для образцов бронетанкового вооружения // Наука и военная безопасность. 2018. № 4 (15). С. 38–42.
2. 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. 3–1.
3. Пат. 2697047 Российская Федерация, МПК F 41 G 3/00. Способ внешнего целеуказания с индикацией целей для образ-

цов бронетанкового вооружения / Зубарь А. В., Кирнос В. И., Шевченко А. А., Абдуллаев А. И., Поздеев А. Н., Тазылисламов Р. Р., Калашников А. Г. № 2019101696; заявл. 22.01.19.; опубл. 08.08.19, Бюл. № 22.

4. 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.

5. Ширман Я. Д., Лосев Ю. И., Минервин Н. Н. [и др.]. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. М.: МАКВИС, 1998. С. 81–88. ISBN 5-93152-001-5.

6. 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.

7. Танк Т-90С. Техническое описание. 188СА.ТО. Ч. 1. Омск: ОАБИИ, 2010. С. 45–56.

8. Танк Т-72Б. Техническое описание. М.: Воениздат, 2002. С. 43–58.

9. Пат. 136148 Российская Федерация, МПК F 41 G 5/06. Система управления огнем / Большаков К. Э. № 2013138388/11; заявл. 19.08.13, опубл. 27.12.13, Бюл. № 36.

10. Зубарь А. В. Оптико-электронная система определения параметров целей. Теоретические основы построения: моногр. Омск: ОАБИИ, 2018. С. 138–163. ISBN 978-5-600-01959-1.

11. Зубарь А. В., Кирнос В. И., Приймак С. В., Майстренко В. А. Программный модуль целеуказания и индикации: свидетельство о регистрации электронного ресурса. М.: ФИПС, 2019. № 2019661176 от 21.08.2019.

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

SPIN-код: 7197-6164

AuthorID (РИНЦ): 987381

Адрес для переписки: vasilij_87@list.ru

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

SPIN-код: 3175-2192

AuthorID (РИНЦ): 755300

Адрес для переписки: alexey_zubar@mail.ru

ГЕЙНЦЕ Эдуард Александрович, преподаватель кафедры «Ремонт бронетанковой и автомобильной техники».

SPIN-код: 9995-7932

AuthorID (РИНЦ): 998131

Для цитирования

Кирнос В. И., Зубарь А. В., Гейнце Э. А. Совершенствование системы внутреннего целеуказания для современных и перспективных объектов бронетанкового вооружения // Омский научный вестник. 2019. № 5 (167). С. 119–123. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-167-119-123.

Статья поступила в редакцию 19.09.2019 г.

© В. И. Кирнос, А. В. Зубарь, Э. А. Гейнце