

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ НАВЕДЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВНУТРЕННЕГО ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ И ИНДИКАЦИИ НА ОБРАЗЦАХ БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ

В статье раскрывается последовательность вычислений при программной реализации разработанного авторами способа внутреннего целеуказания и индикации для образцов бронетанкового вооружения. Описаны этапы построения модели оценки точности наведения по пиксельным координатам изображения цели. Приведены результаты моделирования применительно к стоящему на вооружении танку Т-72Б3.

Ключевые слова: целеуказание, модель, индикация цели, прицел, оценка точности.

Величина времени, затрачиваемая экипажем образца бронетанкового вооружения (БТВ) с момента обнаружения цели до момента её поражения, является важным показателем слаженности и обученности экипажа боевой бронемашины, равно как и эффективности применения образца БТВ на поле боя в целом. Для уменьшения этого времени на танках, БМП, БТР и пр. применяют системы внутреннего целеуказания.

Под термином «внутреннее целеуказание» (ВнуЦУ) понимается процесс получения, обработки и передачи информации о целях и важных объектах в системе «обнаруживший – стреляющий», когда обнаруживший и стреляющий являются членами одного экипажа. На образцах БТВ за обнаружение, распознавание и принятие решения о поражении целей отвечает командир бронеобъекта, за наведение вооружения на цель и её огневое поражение — наводчик-оператор. При этом процесс ВнуЦУ, как правило, заключается в выполнении следующих действий:

— после обнаружения цели командиром бронеобъекта в момент принятия решения о необходимости поражения разведанной цели, командир наводит на неё ось прицеливания своего прицела и подаёт команду на целеуказание наводчику-оператору;

— наводчик-оператор уясняет информацию о цели, ориентирует поле зрения своего прицела в сторону цели, осуществляет её поиск, распознавание и точное наведение центральной прицельной марки.

При проведении ВнуЦУ на образце БТВ показателем эффективности является качество $Q_{ЦУ}$ наведения. Под $Q_{ЦУ}$ понимается выраженная в процентах

доля точных наведений центральной прицельной марки (ЦПМ) прицела наводчика (ПН) на указанную командиром цель. При этом не требуется проведение поиска цели и донаведения вооружения. Если $Q_{ЦУ} = 100\%$, то это означает, что из N целеуказаний в 100 % случаев ЦПМ ПН точно навелось на цель. Под точным наведением понимается невыход ЦПМ ПН за габариты некоторой обозначенной области на видимой в прицел проекции цели.

В настоящее время существующими способами ВнуЦУ, применяемыми на образцах БТВ, являются «ориентирный», «автоматизированный» и «автоматический» [1].

Наиболее эффективный из них является «автоматический» способ [2], заключающийся в том, что переброс вооружения в сторону указанной командиром цели, передача информации по ней, а также непосредственное точное наведения ЦПМ ПН осуществляется в автоматическом режиме с применением автомата сопровождения цели (АСЦ). В результате такого подхода точное наведение обеспечивается за счёт автоматического наведения по изображениям цели с прицелов командира и наводчика. Кроме того, по этой же причине отсутствует необходимость передачи информации о цели наводчику, т.е. время целеуказания определяется только временем переброса при обеспечении $Q_{ЦУ} = 100\%$.

Вместе с этим данный способ имеет ряд недостатков, ограничивающих возможность его реализации на образце БТВ без проведения дорогостоящей модернизации системы управления огнём. Во-первых, необходимо применение АСЦ, причём обязательно с возможностью коммутации видеосигналов с ПН и прицела командира (ПК). Оптико-электронные

системы прицелов должны функционировать в одном спектральном диапазоне, например, телевизионном или тепловизионном. Кроме того, 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, проведение ВнуЦУ (при полной технической исправности системы) данным способом станет невозможным.

На сегодняшний день «автоматический» способ ВнуЦУ может быть применён только на новейших и перспективных образцах БТВ, например, Т-90СМ, Т-14 «Армата» и т.п., то есть, по сути, на тех образцах, которые ещё на вооружение не приняты.

«Автоматизированный» способ ВнуЦУ на образцах БТВ сегодня реализован в двух исполнениях. В более совершенной вариации ВнуЦУ при подаче сигнала на целеуказание сигнал управления на приводы горизонтального наведения вырабатывается за счёт разности показаний датчиков ориентации относительно башни привода командирской панорамы и ориентации башни относительно корпуса бронемашины.

Такой подход позволяет организовывать ВнуЦУ на образцах, на которых ПК и ПН работают в разных (в том числе оптическом) спектральных диапазонах. Однако для эффективного целеуказания в движении ПК обязательно должен иметь независимую стабилизацию поля зрения. На большинстве образцов БТВ ВС РФ ПК или не стабилизированы вовсе, или имеют только вертикальную стабилиза-

цию, ввиду чего данный способ применяется только на последних модернизациях боевых машин десанта, в частности БМД-4М [3].

Ещё одним недостатком этого способа является то, что при перебросе вооружения в сторону цели не обеспечивается 100 % качество наведения $Q_{ЦУ}$.

При этом наводчик затрачивает дополнительное время как на поиск цели, так и на точное донаведение вооружения. Плюс к этому при сложной фоновой обстановке затрачивается ещё и время на передачу информации по цели, чтобы исключить ложное наведение.

В более простом исполнении «автоматизированный» способ ВнуЦУ реализуется за счёт стопорения командирского люка на корпус бронеобъекта, что дополнительно вносит ограничения на возможность манёвра во время проведения целеуказания [4, 5].

Кроме того, общим недостатком этих способов является то, что командир от момента подачи команды на целеуказание до завершения данного процесса не имеет возможности проведения свободной разведки поля, что, несомненно, сказывается на эффективности его работы.

«Ориентирный» способ сегодня применяется только как резервный, в условиях, когда система ВнуЦУ или неисправна, или не предусмотрена изначально. Как правило, данный способ реализуется подачей голосовых команд, в отдельных случаях целеуказание может проходить огнём в сторону цели, определяя направление на неё для наводчика.

Таким образом, складывается противоречие, заключающееся в том, что наиболее эффективный,

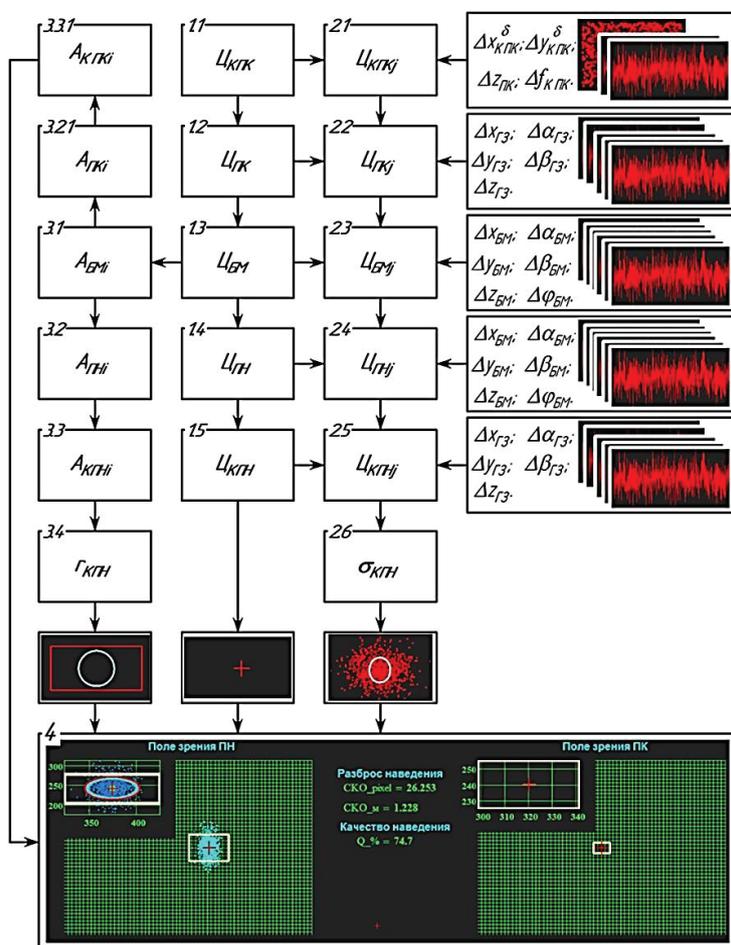


Рис. 1. Структура модели оценки точности наведения

как по качеству наведения, так и по времени, «автоматический» способ ВнуЦУ не может быть применён на серийных образцах БТВ без сложной и дорогостоящей модернизации их системы управления огнём. Вследствие чего на стоящих на вооружении танках, БМП, БТР и т.п. может быть реализован только «автоматизированный» способ, не обеспечивающий высокой точности наведения и требующий дополнительное время на донаведение. Это, в свою очередь, снижает эффективность образца БТВ на поле боя.

Для разрешения данного противоречия в рамках разработки метода комплексирования навигационной и тактической информации в полях зрения прицелов был предложен способ ВнуЦУ и индикации [6, 7]. Основными решаемыми задачами при его разработке ставились обеспечение «автоматического» ВнуЦУ на платформе стоящих на вооружении образцов БТВ, а также возможность интеграции системы ВнуЦУ в систему внешнего целеуказания.

Сущность предлагаемого способа заключается в том, что при подаче сигнала от командира на целеуказание в блоке цифровой обработки изображений ПН осуществляется вычисление и индикация местоположения цели непосредственно в поле зрения ПН и вырабатываются сигналы наведения, обеспечивающие автоматическое целеуказание за счёт совмещения ЦПМ ПН с указанной командиром целью. По своей сути, разработанный способ реализует в себе все качественные признаки «автоматического» способа ВнуЦУ, при этом хорошо интегрируется с системой внешнего целеуказания и может быть реализован на стоящих на вооружении образцах БТВ, в том числе на тех, где ПК имеет только оптический канал наведения.

Для оценки качества наведения предлагаемым способом была разработана математическая модель точности наведения при проведении автоматического внутреннего целеуказания и индикации. Сущность разработанной модели заключалась в последовательном выполнении блока вычислительных операций при проведении ВнуЦУ и индикации с введением на каждом из этапов соответствующих значений погрешностей.

Общая структура модели представлена на рис. 1. Первый блок операций реализуется на этапах 1.1 ... 1.5, представляет собой непосредственное осуществление процесса вычисления координат указанной командиром цели непосредственно на изображении ПН.

В частности, на этапе 1.1 на основании пиксельных $n_{к\text{ПК}}^{\text{ЦПМ}}$, $m_{к\text{ПК}}^{\text{ЦПМ}}$ координат положения ЦПМ в поле зрения ПК с учётом фокусного расстояния $f_{к\text{ПК}}$ объектива, горизонтального $N_{к\text{ПК}}$ и вертикального $M_{к\text{ПК}}$ разрешения, а также линейных размеров пикселя ФПУ камеры прицела, т.е. $p_{к\text{ПК}}^x$ и $p_{к\text{ПК}}^y$, и дальностью $z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}}$ до цели вычислялся вектор $\underline{C}_{к\text{ПК}}$ с трёхмерными метрическими координатами $x_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}}$, $y_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}}$, $z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}}$ цели в СК камеры ПК. Вычисления проводилось согласно выражению [7]

$$\underline{C}_{к\text{ПК}} = \begin{pmatrix} x_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \\ y_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \\ z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (0,5N_{к\text{ПК}} - n_{к\text{ПК}}^{\text{ЦПМ}}) p_{к\text{ПК}}^x z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \\ (0,5M_{к\text{ПК}} - m_{к\text{ПК}}^{\text{ЦПМ}}) p_{к\text{ПК}}^y z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \\ f_{к\text{ПК}} \\ z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Далее на этапе 1.2 в соответствии с конструкцией прицела, а именно вектором $T_{к\text{ПК}}^k = (x_{к\text{ПК}}^k \ y_{к\text{ПК}}^k \ z_{к\text{ПК}}^k)^T$ с координатами, характеризующими положение камеры относительно основания прицела, и матрицей поворота головного зеркала ПК [8].

$$R_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) & 0 & -\sin(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) & 0 & \cos(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(2\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) & -\sin(2\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) \\ 0 & \sin(2\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) & \cos(2\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) & -\sin(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) & 0 \\ \sin(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) & \cos(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}$, $\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}}$ — углы горизонтального и вертикального действующего положения головного зеркала прицела относительно его «нулевого» застопоренного положения, проводился перевод координат цели в СК ПН:

$$\underline{C}_{к\text{ПК}} = (x_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ y_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}})^T = R_{к\text{ПК}}^{\text{ГЗ}} \underline{C}_{к\text{ПК}} + T_{к\text{ПК}}^k. \quad (3)$$

На следующем этапе 1.3 с учётом координат $x_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}$, $y_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}$, $z_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}$ основания ПК в СК образца БТВ и его ориентации с углами $\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}$, $\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}$, $\varphi_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}$ вычислялся вектор $\underline{C}_{к\text{ПК}} = (x_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ y_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}})^T$ координат цели в СК бронеобъекта

$$\underline{C}_{к\text{ПК}} = (x_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ y_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}})^T = R_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}} \underline{C}_{к\text{ПК}} + T_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}, \quad (4)$$

где

$$R_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) & 0 & -\sin(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) & 0 & \cos(\alpha_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) & -\sin(\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) \\ 0 & \sin(\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) & \cos(\beta_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\varphi_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) & -\sin(\varphi_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) & 0 \\ \sin(\varphi_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) & \cos(\varphi_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$T_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}} = (x_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}} \ y_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}} \ z_{к\text{ПК}}^{\text{ПК}})^T.$$

Этапы 1.4 и 1.5 представляют собой аналогичные по структуре, но противоположные по значению преобразования, где за счёт информации о положении и ориентации ПН и действующем на момент целеуказания положении камеры и ориентации его головного зеркала вычисляются координаты цели непосредственно в его СК, т.е.

$$\underline{C}_{к\text{ПН}} = (x_{к\text{ПН}}^{\text{Ц}} \ y_{к\text{ПН}}^{\text{Ц}} \ z_{к\text{ПН}}^{\text{Ц}})^T = (R_{к\text{ПН}}^{\text{ПН}})^{-1} \underline{C}_{к\text{ПК}} - T_{к\text{ПН}}^{\text{ПН}}; \quad (5)$$

$$\underline{C}_{к\text{ПК}} = (x_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ y_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}})^T = (R_{к\text{ПН}}^{\text{ПК}})^{-1} \underline{C}_{к\text{ПН}} - T_{к\text{ПН}}^{\text{ПК}}, \quad (6)$$

где $\underline{C}_{к\text{ПН}} = (x_{к\text{ПН}}^{\text{Ц}} \ y_{к\text{ПН}}^{\text{Ц}} \ z_{к\text{ПН}}^{\text{Ц}})^T$ — вектор трёхмерных оснований ПН в СК бронемашины; $\underline{C}_{к\text{ПК}} = (x_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ y_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}} \ z_{к\text{ПК}}^{\text{Ц}})^T$ — вектор трёхмерных оснований камеры в СК ПН; $R_{к\text{ПН}}^{\text{ПН}}$ и $T_{к\text{ПН}}^{\text{ПН}}$ — матрица поворота и вектор переноса, характеризующие ориентацию и положение ПН в СК бронемашины; $R_{к\text{ПН}}^{\text{ПК}}$ и $T_{к\text{ПН}}^{\text{ПК}}$ — соответственно матрица поворота головного зеркала и вектор координат камеры в СК ПН.

На этапе 1.5 трёхмерные метрические координаты цели из СК камеры ПН преобразовывались в плоские пиксельные координаты, т.е. непосредственно в номер строки $n_{к ПН}^u$ и столбца $m_{к ПН}^u$ изображения цели в поле зрения ПН, куда в процессе наведения должна быть перемещена его ЦГМ

$$C_{к ПН} = \begin{pmatrix} n_{к ПН}^u \\ m_{к ПН}^u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,5N_{к ПН} P_{к ПН}^x z_{к ПН}^u - x_{к ПН}^u f_{к ПН} \\ P_{к ПН}^x z_{к ПН}^u \\ 0,5M_{к ПН} P_{к ПН}^y z_{к ПН}^u - y_{к ПН}^u f_{к ПН} \\ P_{к ПН}^y z_{к ПН}^u \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Второй блок операций, включающий этапы 2.1...2.6, в целом по последовательности математических действий аналогичен первому блоку, с той разницей, что все операции в нем выполнялись N раз, и на каждом j -ом вычислении, где $j \in 0...N$, к основным вычисляемым величинам прибавлялось случайно заданное в рамках величины и указанного закона распределения значение погрешности.

В частности, при наведении ПК первичным источником погрешности наведения является разрешающая способность оптико-электронного канала, которая может быть определена по физическим размерам пикселей фотоприёмных устройств (ФПУ) и величине фокусного расстояния объективов. Если пиксели ФПУ имеют квадратную форму, т.е. разрешающая способность в вертикальной $\Delta\delta_{к ПК}^y$ и горизонтальной $\Delta\delta_{к ПК}^x$ плоскости будут равны, тогда их величины могут быть найдены согласно выражению

$$\Delta\delta_{к ПК}^x = \Delta\delta_{к ПК}^y = \pm 0,5 \arctg \left(\frac{P_{к ПК}^x}{f_{к ПК} \pm \Delta f_{к ПК}} \right), \quad (8)$$

где $P_{к ПК}^x$ — линейная величина размера пикселя ФПУ камеры ПК в горизонтальной плоскости; $f_{к ПК}$ — величина фокусного расстояния объектива камеры ПК; $\Delta f_{к ПК}$ — погрешность величины $f_{к ПК}$.

В результате на удалении $z_{к ПК}^u$ ввиду ограниченности физического разрешения канала наблюдения ПК горизонтальная $\Delta x_{к ПК}^\delta$ и вертикальная $\Delta y_{к ПК}^\delta$ координаты цели в СК камеры прицела с учётом точности $\Delta z_{к ПК}$ дальномера будут определены с погрешностями

$$\Delta x_{к ПК}^\delta = \pm (z_{к ПК}^u \pm \Delta z_{к ПК}) \operatorname{tg}(\Delta\delta_{к ПК}^x); \quad (9)$$

$$\Delta y_{к ПК}^\delta = \pm (z_{к ПК}^u \pm \Delta z_{к ПК}) \operatorname{tg}(\Delta\delta_{к ПК}^y). \quad (10)$$

На следующих этапах 2.2...2.5 в процесс целеуказания вводились случайные составляющие, связанные с точностью датчиков, точностью изготовления корпусов прицелов и точности установки и ориентации прицелов на башне образца БТВ, а именно:

$\Delta\alpha_{ГЗ}$, $\Delta\beta_{ГЗ}$ — точность датчиков горизонтального и вертикального углов положения головного зеркала прицела;

$\Delta x_{ГЗ}$, $\Delta y_{ГЗ}$, $\Delta z_{ГЗ}$ — точность установки головного зеркала в корпусе прицела;

$\Delta\beta_{БМ}$, $\Delta\alpha_{БМ}$, $\Delta\varphi_{БМ}$ — точность ориентации основания прицела на башне образца БТВ;

$\Delta x_{БМ}$, $\Delta y_{БМ}$, $\Delta z_{БМ}$ — точность установки прицела на башне образца БТВ.

Все случайные величины генерировались по нормальному закону распределения. Исключением составило только распределение положения

цели в границах $\Delta x_{к ПК}^\delta$ и $\Delta y_{к ПК}^\delta$, которое было принято равномерным. В результате на этапе 2.5 вычислялся вектор размерности $N \times 1$, каждый j -ый элемент которого представляло собой вектор 2×1 с пиксельными $n_{к ПНj}^u$ и $m_{к ПНj}^u$ координатами изображения цели, на которое будет осуществлено наведение.

На этапе 2.6 осуществлялось вычисление среднего квадратичного отклонения распределения пиксельных координат на изображении ПН.

Третий блок вычислений предназначался для определения величины изображения объекта, по которому проводится целеуказание. Для чего дополнительно к координатам цели вектора $C_{БМ} = (x_{БМ}^u, y_{БМ}^u, z_{БМ}^u)^T$ в блоке 3.1 вычислялся набор векторов $A_{БМi}$ с метрическими координатами верхней, левой, правой и левой границ цели

$$A_{БМ} = \begin{pmatrix} (x_{БМ}^u + 0,5b_{ц} & y_{БМ}^u - 0,5h_{ц} + h_r & z_{БМ}^u)^T \\ (x_{БМ}^u + 0,5b_{ц} & y_{БМ}^u + 0,5h_{ц} - h_r & z_{БМ}^u)^T \\ (x_{БМ}^u - 0,5b_{ц} & y_{БМ}^u + 0,5h_{ц} - h_r & z_{БМ}^u)^T \\ (x_{БМ}^u - 0,5b_{ц} & y_{БМ}^u - 0,5h_{ц} + h_r & z_{БМ}^u)^T \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где $b_{ц}$ — ширина цели, м; $h_{ц}$ — высота цели, м; $h_r = 0,67(z_{БМ}^u)^{0,38}$ — высота экранирования цели микрорельефом местности с учётом математического ожидания высоты экрана [10, с. 477].

В блоках 3.2.1, 3.3.1 и 3.2, 3.3 проводились однотипные преобразования согласно выражениям (5) — (7), целью которых было вычисление пиксельных координат границ цели в полях зрения ПН и ПК.

Если размеры изображения цели в поле зрения ПК вычислялось больше для информативного графического представления, то на основании пиксельных координат изображения границ цели в поле зрения ПН для оценки качества наведения $Q_{цв}$ вычислялся радиус окружности $r_{ПН}^u = 0,8h_{ПН}^u$, где $h_{ПН}^u$ — высота цели в пикселях в поле зрения ПН. В итоге величина $Q_{цв}$ рассчитывалась по выраженному в процентах относительно общего числа количеству «попаданий» в заданную окружность.

Программно данная модель была реализована в среде Mathcad, интерфейс разработанной программы для ЭВМ представлен на рис. 2. Адекватность модели была проверена на экспериментальной установке (рис. 3), представляющей собой ЭВМ с соответствующим программным обеспечением [9] и пару цифровых камер, размещённых на штативе на заданном друг относительно друга положении, для чего использовались линейные и угловые шкалы. Правая камера предназначалась для имитации работы цифрового канала наблюдения ПК. На изображении данной камеры указывалось положение объекта. Дальность до объекта измерялась с помощью лазерного дальномера Bosch GLM 250 обеспечивающего точность измерений в пределах $\pm 1,0$ мм. В поле зрения левой камеры, имитирующей ПН согласно разработанному способу, вычислялось в автоматическом режиме положение указанного на правой камере объекта, и затем с помощью сопоставления расчётного и действительного положения изображений вычислялась точность и оценивалось качество наведения.

Оценка эффективности разработанного способа ВнуЦУ и индикации проводилась применительно к самому массовому в ВС РФ образцу танкового вооружения — Т-72Б3. При этом расстояние до цели составляло от 500 до 3000 м, т.е. на максимальной дальности измерения дистанции встроеным даль-

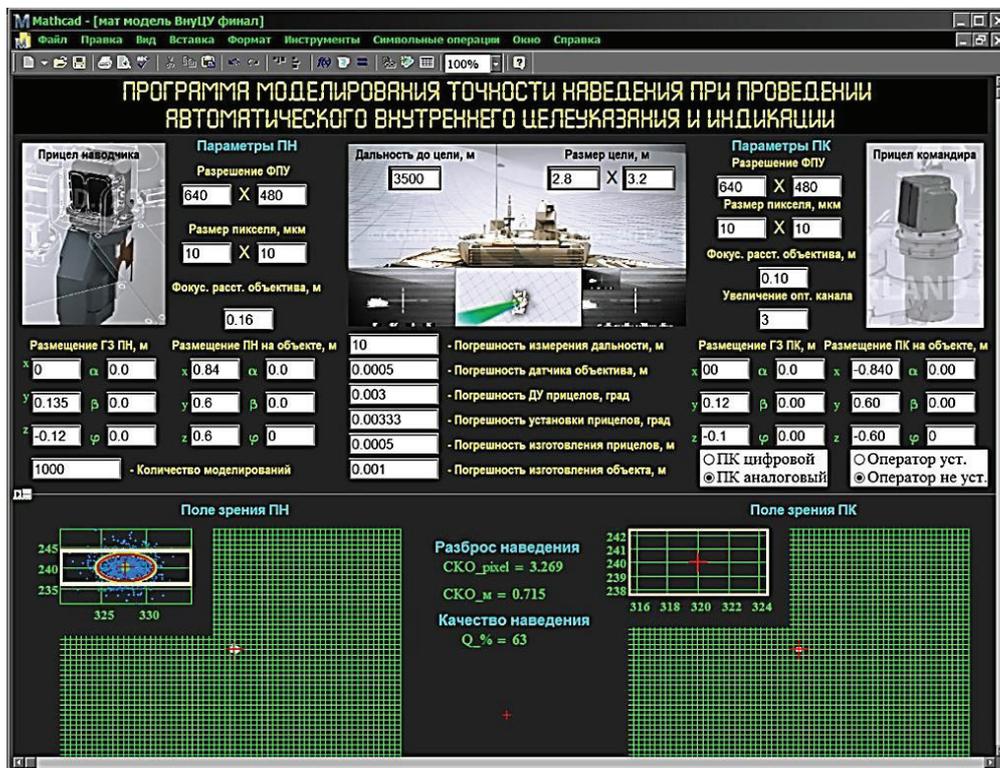


Рис. 2. Интерфейс программы моделирования точности наведения



Рис. 3. Внешний вид экспериментальной установки

номером одной из модификаций ПК ТКН-ЗАИ [10, с. 513 – 517], обеспечивающим измерение дальности с точностью ± 20 м. Для ПН принимались параметры, близкие к техническим данным прицела прибора наведения «Сосна-У», а именно фокусное расстояние при максимальном увеличении 0,16 м, разрешение ФПУ 640×480 и размер пикселя 10×10 мкм. Погрешность изготовления объективов прицелов принималась на уровне 0,5 мм, погрешность датчиков угла положения головного зеркала прицела принималась в пределах $\pm 0,003^\circ$ [10, с. 711 – 717]. Погрешность угловой установки прицелов на объекте рассчитывалась из требований к посадочной площадке прицела «Сосна-У» по допуску на параллельности с контрольной площадкой $\pm 12''$ [11]. Принималось, что прицелы на башне размещены с точностью ± 1 мм. При проведении моделирования размеры цели составляли 2,8 м на 3,6 м, что соответствует размерам лобовой проекции американского танка «Абрамс».

Результаты моделирования представлены на рис. 4. Анализ результатов моделирования по-

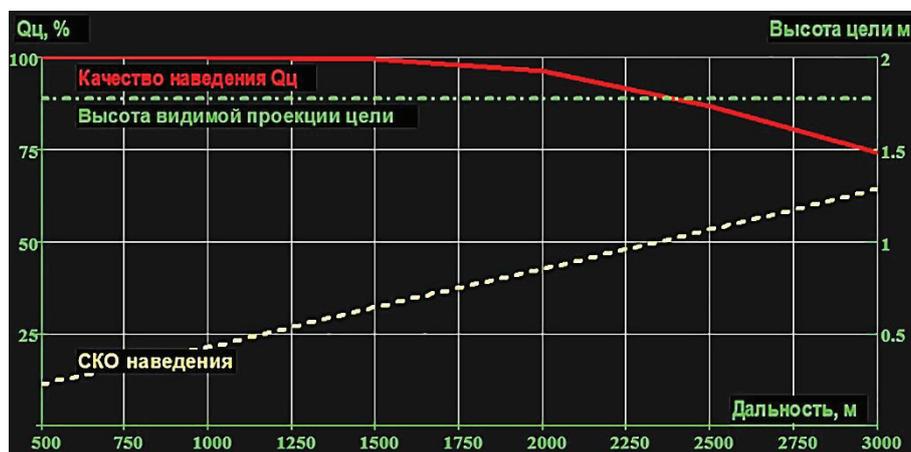


Рис. 4. Результаты моделирования

казывает достаточно высокое качество наведения разработанным способом, которое на предельной дальности составило не менее 74,9 %. Причем СКО наведения не превысил на максимальной дистанции размеров видимой части цели, что позволяет делать вывод о том, что только в 21 % случаев при применении разработанного способа потребуется незначительное донаведение в вертикальной плоскости на величину нескольких пикселей.

Таким образом, разработанный способ ВнуЦУ и индикации является высокоточным, уступая по точности и качеству наведения только «автоматическому» внутреннему целеуказанию с применением АСЦ. Кроме того, он может применяться на образцах БТВ, у которых ПК имеют как цифровой, так и оптический канал наведения, т.е. практически на всех серийных танках, БТР и БМП в последних их модернизациях. В случае же применения на новейших образцах БТВ предлагаемый способ может обеспечить автоматическое целеуказание в тех случаях, когда АСЦ не может обеспечить надежный захват цели при её малом контрасте с фоном.

Библиографический список

1. Кирнос В. И., Зубарь А. В. Обзор современного состояния и направления совершенствования способов целеуказания для объектов бронетанкового вооружения // Совершенствование системы эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: материалы VII Межвуз. науч.-практ. конф., 21 ноября 2019 г. Омск: Изд-во ОАБИИ, 2019. Ч. 2. С. 156 – 162.
2. 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.
3. Унифицированное боевое отделение Б8Я01 для машин легкой категории по массе. Руководство по эксплуатации (часть 2) Б8Я01.00.00.000 РЭ1. Курган: 2018. С. 61 – 63.
4. Танк Т-90С. Техническое описание. 188СА.ТО. Ч. 1. Омск: ОАБИИ, 2010. С. 45 – 56.
5. Танк Т-72Б. Техническое описание. М.: Воениздат, 2002. С. 43 – 58.
6. Пат. 2697047 Российская Федерация, МПК F 41 G 3/00. Способ внутреннего целеуказания с индикацией целей для образцов бронетанкового вооружения / Зубарь А. В., Кирнос В. И., Шевченко А. А., Абдуллаев А. И., Поздеев А. Н., Чернявская А.В., Калашников А. Г. № 2712367; заявл. 12.08.19.; опубл. 28.01.20, Бюл. № 22.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Медведев А. В., Гринкевич А. В., Князева С. Н. Перспективные направления развития оптико-электронной техники ночного видения: моногр. / ОАО Ростовский оптико-механический завод. Ростов Великий, 2012. 960 с. ISBN 978-5-9901789-3-9.
11. Изделие «Сосна-У». Руководство по эксплуатации 7084.00.00.000 РЭ. Минск: ОАО Пеленг, 2003. С. 43.

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

ПИВОВАРОВ Владимир Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматика».

AuthorID (РИНЦ): 408317

Адрес для переписки: vpivovarov@mail.ru

Для цитирования

Кирнос В. И., Зубарь А. В., Пивоваров П. В. Разработка модели оценки точности наведения при проведении внутреннего целеуказания и индикации на образцах бронетанкового вооружения // Омский научный вестник. 2020. № 2 (170). С. 76 – 81. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-170-76-81.

Статья поступила в редакцию 12.03.2020 г.

© В. И. Кирнос, А. В. Зубарь, В. П. Пивоваров