

Н.В. Ким, В.П. Носков, И.В. Рубцов, В.А. Аникин**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ВЕРТОЛЕТА
НА НЕОБОРУДОВАННУЮ ПЛОЩАДКУ**

Многие целевые задачи, решаемые беспилотными вертолетами, выполняются в сложных условиях функционирования. При этом вертолеты подвержены воздействию различных дестабилизирующих факторов, существенно влияющих на безопасность полетов. В представленной работе рассмотрены основные проблемы, возникающие при эксплуатации беспилотных вертолетов, показано, что недостаточный уровень безопасности полетов обусловлен, в частности, высокой частотой крушений при вынужденных посадках. Обоснована необходимость создания бортовых средств автоматической посадки беспилотного вертолета. С учетом предъявляемых Федеральными авиационными правилами требований к местам посадки, сформулированы параметры-ограничения, позволяющие формализовать выбор пригодных для посадки участков рельефа по данным бортовой системы технического зрения. На основе сравнительного анализа, показано, что в настоящее время при формировании исходных видеоданных для решения поставленной задачи целесообразно использовать комплексированную систему технического зрения на базе взаимно юстированных и имеющих общую зону обзора 3D-лазерного сенсора, цветной видеокамеры и тепловизора. Предложены алгоритмы распознавания мест посадки по видеоданным бортовой комплексированной системы технического зрения с использованием критериев геометрической и опорной проходимости. Распознавание пригодных для посадки мест по критерию геометрической проходимости предлагается выполнять в два этапа: сначала формировать по данным 3D-лазерного сенсора карту высот рельефа, попавшего в зону обзора сенсора, затем путем сравнения перепадов высот данного рельефа с допустимыми для данного беспилотного вертолета выделять пригодные и непригодные для посадки участки. Распознавание пригодных для посадки мест по критерию опорной проходимости предлагается выполнять путем вычисления евклидова расстояния между формируемыми комплексированной системой технического зрения данными и заранее известными эталонами различных типов грунтов в шестимерном пространстве признаков (дисперсия высоты, интенсивность отраженного сигнала, три цвета и температура). Окончательный выбор пригодных для посадки мест предлагается выполнять путем пересечения участков, удовлетворяющих обоим критериям. Приведены результаты работы соответствующих программно-аппаратных средств в реальных условиях, подтверждающие корректность и эффективность предлагаемых алгоритмов.

Беспилотный вертолет; автоматическая посадка; система технического зрения; геометрическая и опорная проходимость.

N.V. Kim, V.P. Noskov, I.V. Rubtsov, V.A. Anikin**AUTOMATED LANDING OF AN UNMANNED HELICOPTER
TO AN UNEQUIPPED SITE**

Unmanned helicopters perform many tasks in difficult operating conditions and are subject to various destabilizing factors that significantly affect flight safety. The main problems encountered in the operation of unmanned helicopters are considered. It is shown that the insufficient level of flight safety is caused, in particular, by the high frequency of crashes during forced landings. The necessity of creating onboard means of automatic landing of an unmanned helicopter is proved. Taking into account the requirements of the Federal aviation regulations for landing places, the parameters-restrictions that allow formalizing the choice of terrain areas suitable for landing according to the onboard technical vision system are formulated. On the basis of comparative analysis, it is shown that at present, when forming the initial video data for solving this problem, it is advisable to use a complex system of technical vision based on mutually adjusted and having a common viewing area of a 3D laser sensor, color video camera and thermal imager. The proposed

recognition algorithms of the pick-up location in the video data on-Board complex system of technical vision with the use of geometric criteria and the reference permeability. It is proposed to perform the recognition of landing places based on the criterion of geometric cross-country capability in two stages: at the first stage, a map of terrain heights is formed based on 3D laser sensor data, and at the second stage, areas suitable for helicopter landing are selected. Recognition of suitable and unsuitable areas is performed by comparing the elevation differences of this terrain with the reference elevation differences defined for this unmanned helicopter. It is proposed to perform the recognition of suitable landing sites based on the criterion of reference passability by calculating the Euclidean distance between the obtained data and pre-known standards corresponding to different types of soil in the six-dimensional feature space (height variance, reflected signal intensity, three colors, and temperature). The final selection of suitable places for planting is proposed to be made from sites that meet both criteria. The results of the work of the corresponding software and hardware in real conditions are presented, confirming the correctness and effectiveness of the proposed algorithms.

Unmanned helicopter; automatic landing; technical vision system; geometric and reference cross-country capability.

Введение. В последние годы все большее применение имеют беспилотные летательные аппараты, оснащенные бортовыми системами технического зрения. В частности, авиационный мониторинг наземной обстановки является важным этапом обследования мест чрезвычайных ситуаций [1], в т.ч. анализа пожарной обстановки, поиска людей, техники [2, 3], экологического мониторинга и пр. В [4] обсуждаются вопросы обнаружения наземных стационарных объектов, в [5] рассматриваются алгоритмы принятия решений при реализации мониторинга дорожной обстановки с помощью малоразмерных летательных аппаратов вертолетного типа. Обнаружение и слежение за наземными объектами с помощью беспилотного вертолета (БВ) исследуется в работе [6]. Целевые задачи мониторинга, связанные с обнаружением и распознаванием объектов интереса решаются автоматически с помощью программно-аппаратных средств систем технического зрения [7–10].

Подобные БВ функционируют в сложных условиях и в ряде случаев подвержены воздействию различных дестабилизирующих факторов. Основные проблемы эксплуатации БВ во многом связаны с недостаточным уровнем безопасности полетов и, в частности, довольно высокой частотой крушений при вынужденной посадке.

Необходимость в вынужденной посадке возникает при особых ситуациях, к которым относятся:

- ◆ потеря связи или передача на пульт управления не качественных видео-изображений окружающего БВ пространства;
- ◆ сбой в работе навигационной системы;
 - сложные для полета метеоусловия;
 - аварийная ситуация;
 - внезапное изменение полетного задания.

Автоматическая система посадки может рассматриваться в качестве альтернативы (или дополнения) существующим системам с дистанционным управлением не только при потере связи, но и для исключения ошибок оператора [11, 12]. Автоматической системой посадки так же должны быть оснащены БВ, ориентированные на полностью автономное функционирование в индустриально-городских средах, избыточно экранированными зонами [13].

Возможны следующие виды посадок вертолета:

- ◆ вертикальная посадка с работающими двигателями;
- ◆ посадка скоростью (по самолетному);
- ◆ посадка на режиме самовращения несущего винта.

Рассмотрим вариант вертикальной посадки БВ, требующий выбора посадочной площадки минимального размера. По аналогии с Федеральными авиационными правилами «Требования к посадочным площадкам, расположенным на участке земли или акватории» при автоматической посадке в качестве посадочной должна быть выбрана земельная (ледовая) или искусственная площадка, пригодная для взлета и посадки данного типа БВ. При этом размер d (диаметр круга) посадочной площадки должен быть не менее максимального габарита объекта управления с вращающимися винтами, а ее поверхность – быть свободной от препятствий (высота вертикальной ступеньки не более h_0), удовлетворять ограничениям по уклону (средний уклон в любом направлении не должен превышать ψ_c , локальный уклон, измеряемый по размеру r колеи БВ, не должен превышать ψ_n) и выдерживать воздействие струи несущего винта и шасси. Таким образом, при выборе (распознавании) пригодного для посадки места необходимо учитывать геометрические и опорные характеристики грунта в зоне вынужденной посадки, что может быть сделано по аналогии с классификацией зоны маневрирования наземного робота по критериям геометрической и опорной проходимости [14–18].

Выбор места посадки по критерию геометрической проходимости. В данном случае выбор места посадки может осуществляться на основе данных бортовой системы технического зрения (СТЗ), обеспечивающей построение подробной карты высот зоны вынужденной посадки с последующей классификацией ее участков на пригодные и не пригодные для посадки путем сравнения их геометрии с геометрическими ограничениями для данного БВ. В качестве бортовой СТЗ для построения подробной карты высот наиболее целесообразно в настоящее время использовать 3D-лазерные сенсоры, которые:

- ◆ по сравнению с СТЗ со структурированной подсветкой имеют большую дальность и сохраняют работоспособность при солнечном освещении;
- ◆ по сравнению с СТЗ на основе стереозрения не зависят от условий освещенности и контрастности текстуры изображений;
- ◆ по сравнению с СТЗ на основе метода «структура-по-движению» не требуют высокоточной навигации.

Зона посадки определяется зоной обзора 3D-лазерного сенсора, которая представляет собой телесный угол с оптической осью, направленной вниз (рис. 1)



Рис. 1. Зоны обзора сенсора и зона посадки

Карта высот зоны посадки представляет собой координаты высот (Z) рельефа относительно центральной горизонтальной плоскости (XxY), которые могут быть получены из облака точек $v_i = \langle x_i, y_i, z_i \rangle^T$ ($i=1, 2, \dots, n$), сформированного 3D-лазерным

сенсором, путем преобразования их координат из системы координат сенсора в систему координат центральной горизонтальной плоскости с учетом крена (θ) и тангажа (γ) объекта управления [14]:

$$V_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ z'_i \end{pmatrix} - M(\theta, \gamma) \times v_i,$$

где $M(\theta, \gamma)$ – обобщенная матрица поворотов на углы крена и тангажа (приведение к местной вертикали);

z'_i – z-координата i-й точки после приведения ее к местной вертикали;

$V_i = \langle X_i, Y_i, Z_i \rangle^T$ ($i=1, 2, \dots, n$) – координаты рельефа зоны посадки.

На рис. 2,б приведена карта высот реального рельефа (фото на рис. 2,а), сформированная по данным 3D-лазерного сенсора (2D-лазерный сенсор SICK LMS 291 на опорно-поворотном устройстве).

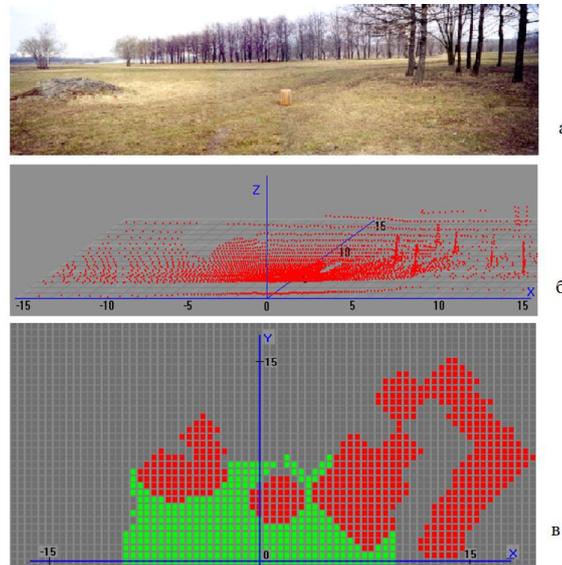


Рис. 2. Выбор места посадки по критерию геометрической проходимости

При наличии подробной карты высоты классификация участков зоны посадки на пригодные и не пригодные сводится к вычислению перепадов высот (выделению препятствий типа ступенек) и возможных колебаний корпуса БВ по крену и тангажу на данном рельефе и сравнению их соответственно с предельно-допустимыми h_0 и ψ_d в пределах колеи r . Кроме того, в соответствии с сформулированными выше требованиями, необходимо вычислять средний уклон места посадки с диаметром d в любом направлении и сравнивать его с предельно допустимым ψ_c . Как показано в [14], наиболее эффективными для этого являются алгоритмы классификации, в основу которых положена процедура вычисления перепадов высот между точками рельефа, находящимися друг от друга в горизонте на расстоянии l , и сравнения их со значением функции геометрической проходимости $f(l)$ для данного БВ (рис. 3).

При превышении перепада высот хотя для одной пары точек, принадлежащих площадке диаметра d , соответствующего значения функции геометрической проходимости, данная площадка классифицируется, как не пригодная для посадки. Для ускорения процесса классификации можно перейти от карты высот к матрице экстремальных высот [14], в которую записываются не все точки, а только макси-

мальные и минимальные высоты дискретных участков горизонтальной плоскости (шаг дискретизации выбирается в зависимости от плотности сканирования зоны посадки и габаритов БВ и его шасси). Результат классификации для рассмотренной выше сцены приведен на рис. 2,в, а для дорожной сцены на рис. 4 (красным выделены не пригодные для посадки участки).

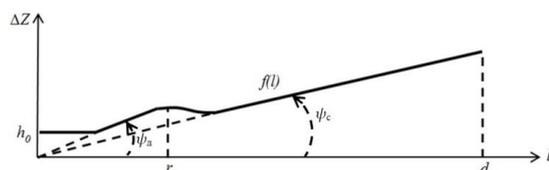


Рис. 3. Функция геометрической проходимости БВ



Рис. 4. Выбор места посадки по критерию геометрической проходимости

Выбор места посадки по критерию опорной проходимости. В данном случае выбор места посадки должен осуществляться на основе данных бортовой комплексованной СТЗ, представляющей собой совокупность взаимно юстированных сенсоров различной физической природы (например, 3D-лазерного сенсора, цветной видеокамеры и тепловизора) с общей зоной обзора [17–20]. Данные юстировки позволяют совмещать в единой системе координат дальнометрические, видео- и тепловизионные изображения, в результате чего получается геометрия рельефа опорной поверхности в виде облака точек T , с распределением на нем цветового и температурного полей:

$$T = [T_i] = [< \alpha_i, \beta_i, d_i, I_i, R_i, G_i, B_i, Y_i >],$$

$$i = 1, 2, \dots, n,$$

где n – число точек;

α_i, β_i – углы, соответственно, горизонтальной и вертикальной развёртки 3D-лазерного сенсора;

d_i – измеренная дальность;

I_i – измеренная интенсивность отражённого сигнала лазерного сенсора;

R_i, G_i, B_i – три компонента цвета пиксела, полученные с телевизионной камеры;

Y_i – температура пиксела, полученная с тепловизионной камеры.

Построенная таким образом более полная комплексная модель позволяет более достоверно распознать типы грунтов (песок, глина, растительность, асфальт, бетон и др.) отдельных участков зоны посадки. Распознавание типов грунтов можно выполнять путем вычисления евклидова расстояния между формируемыми комплексированной СТЗ данными и заранее известными эталонами различных типов грунтов в шестимерном пространстве признаков (дисперсия высоты, интенсивность отраженного сигнала, три цвета и температура). На рис. 5,б приведен результат распознавания типов грунтов в реальной среде (фото на рис. 5,а).

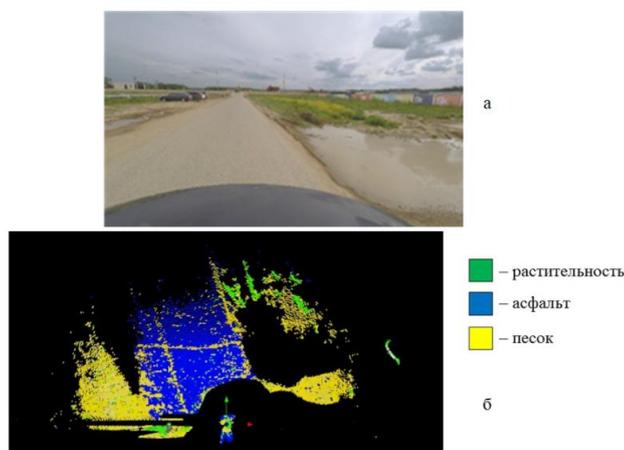


Рис. 5. Распознавание типов грунтов

Водные поверхности и очаги возгорания не отражают зондирующего сигнала лазерного сенсора, что также является признаком, позволяющим достоверно распознавать такие участки с учетом остальных признаков.

Распознавание типов грунтов позволяет оценить соответствующую им несущую способность и исключить попадающие в зону обзора СТЗ участки, пригодные для посадки по критерию геометрической проходимости, но не пригодные по критерию опорной проходимости, что существенно повышает безопасность автоматической посадки.

Так как дальнометрическое изображение зоны посадки сформировано в системе координат БВ, то в этой же системе координат определены и места посадки (в том числе и ближайшее к объекту управления), что дает необходимые данные для реализации автоматической посадки бортовой системой управления.

Заключение. Предложенные алгоритмы обработки дальнометрических и комплексированных изображений зоны посадки позволяют на доступных в настоящее время бортовых средства эффективно (в реальном времени и с высокой достоверностью) решать задачи выделения пригодных для посадки мест и обеспечить тем самым безопасную автоматическую посадку БВ. Работоспособность и эффективность предлагаемых алгоритмов подтверждена результатами работы ответствующих программно-аппаратных средств в реальных средах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Evdokimenkov V.N., Kim N.V., Kozorez D.A., Mokrova M.I.* Control of unmanned aerial vehicles during fire situation monitoring // *INCAS Bulletin*. – 2019. – No. 11. – P. 66-73
2. *Yan X., Wu X., Kakadiaris I.A., Shah S.K.* To Track or To Detect? An Ensemble Framework for Optimal Selection. In: *Fitzgibbon A., Lazebnik S., Perona P., Sato Y., Schmid C.* (eds) *Computer Vision – ECCV 2012*. LNCS. Vol. 7576. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
3. *Türmer S., Leitloff J., Reinartz, P., et al.* Evaluation of selected features for car detection in aerial images // *ISPRS Hannover Workshop*. – 2011. – P. 14-17.
4. *Obermeyer K.* Path Planning for a UAV Performing Reconnaissance of Static Ground Targets in Terrain. In: *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Guidance, Navigation, and Control and Co-located Conferences*. – 11 p. Chicago, USA, 2009.
5. *Kim N., Chervonenkis M.* Situational control unmanned aerial vehicles for traffic monitoring. *Modern Applied Science* 9 (5), Special Issue, Canadian Center of Science and Education. ISSN (printed): 1913-1844. – ISSN (electronic): 1913-1852, 2015.
6. *Lin, F., Lum, KY., Chen, B.M. et al.* Development of a vision-based ground target detection and tracking system for a small unmanned helicopter. *Science in China Series F: Information Sciences*, Springer, 2009. 52:2201.
7. *Коган И.М.* Прикладная теория информации. – М.: Радио и связь. 1981. – 216 с.
8. *Горелик А.Л., Скринские В.А.* Методы распознавания. – М.: Наука, 2004. – 207 с.
9. *David A. Forssyth, Jean Ponce.* *Computer Vision: a Modern Approach* // Prentice Hall, Ptr., Coperight, 2003 by Pearson Education, Inc.
10. *Kim N., Bodunkov N.* «Computer Vision in Control Systems - 3: Aerial and Satellite Image Processing». Vol. 3, Editors M. Favorskaya, Lakhmi C. Jain, Springer 2018. – 343 p.
11. *Kim N.V., Hyun Y.M. and Yang H.K.* Performance analysis of aircraft automatic landing system based on surface image processing // *Proceedings WCSE/UKC 2002*, Seoul, 2002.
12. *Ким Н.В., Кузнецов А.Г.* Автоматическая посадка малогабаритного летательного аппарата в особых ситуациях // Тр. международной конференции. – СПб., 2010.
13. *Загоруйко С.Н., Казьмин В.Н., Носков В.П.* Навигация БПЛА и 3D-реконструкция внешней среды по данным бортовой СТЗ // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2014. – № 8. – С. 62-68.
14. *Буйолов Г.А., Носков В.П., Руренко А.А., Распопин А.Н.* Аппаратно-алгоритмические средства формирования модели проблемной среды в условиях пересеченной местности // Сб. научных трудов «Управление движением и техническое зрение автономных транспортных роботов». – М.: ИФТП, 1989. – С. 61-69.
15. *Каляев А.В., Носков В.П., Чернухин Ю.В., Каляев И.А.* Однородные управляющие структуры адаптивных роботов. – М.: Наука, 1990. – 147 с.
16. *Носков В.П., Рубцов И.В.* Опыт решения задачи автономного управления движением мобильных роботов // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2005. – № 12. – С. 21-24.5.
17. *Носков А.В., Рубцов И.В., Романов А.Ю.* Формирование объединенной модели внешней среды на основе информации видеокамеры и дальномера // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2007. – № 8. – С. 2-5.
18. *Вазаев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В., Цариченко С.Г.* Распознавание объектов и типов опорной поверхности по данным комплексированной системы технического зрения // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2016. – № 2 (175). – С. 127-139.
19. *Вазаев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В., Цариченко С.Г.* Комплексированная СТЗ в системе управления пожарного робота // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2017. – № 1 (186). – С. 121-132.
20. *Вазаев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В.* Нейросетевой модуль выбора эталонов для распознавания типов опорной поверхности // Перспективные системы и задачи управления: Матер. XIV Всероссийской научно-практической конференции и X молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах»; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2019. – С. 29-33.

REFERENCES

1. *Evdokimenkov V.N., Kim N.V., Kozorez D.A., Mokrova M.I.* Control of unmanned aerial vehicles during fire situation monitoring, *INCAS Bulletin*, 2019, No. 11, pp. 66-73
2. *Yan X., Wu X., Kakadiaris I.A., Shah S.K.* To Track or To Detect? An Ensemble Framework for Optimal Selection. In: Fitzgibbon A., Lazebnik S., Perona P., Sato Y., Schmid C. (eds) *Computer Vision – ECCV 2012*. LNCS. Vol. 7576. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.
3. *Türmer S., Leitloff J., Reinartz, P., et al.* Evaluation of selected features for car detection in aerial images, *ISPRS Hannover Workshop*, 2011, pp. 14-17.
4. *Obermeyer K.* Path Planning for a UAV Performing Reconnaissance of Static Ground Targets in Terrain. In: *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Guidance, Navigation, and Control and Co-located Conferences*, 11 p. Chicago, USA, 2009.
5. *Kim N., Chervonenkis M.* Situational control unmanned aerial vehicles for traffic monitoring. *Modern Applied Science* 9 (5), Special Issue, Canadian Center of Science and Education. ISSN (printed): 1913-1844. ISSN (electronic): 1913-1852, 2015.
6. *Lin, F., Lum, KY., Chen, B.M. et al.* Development of a vision-based ground target detection and tracking system for a small unmanned helicopter. *Science in China Series F: Information Sciences*, Springer, 2009. 52:2201.
7. *Kogan I.M.* *Prikladnaya teoriya informatsii [Applied information theory]*. Moscow: Radio i svyaz'. 1981, 216 p.
8. *Gorelik A.L., Skripie V.A.* *Metody raspoznavaniya [Methods of recognition]*. Moscow: Nauka, 2004, 207 p.
9. *David A. Forssyth, Jean Ponce.* *Computer Vision: a Modern Approach, Prentice Hall, Ptr., Coperight, 2003 by Pearson Education, Inc.*
10. *Kim N., Bodunkov N.* «Computer Vision in Control Systems - 3: Aerial and Satellite Image Processing». Vol. 3, Editors M. Favorskaya, Lakhmi C. Jain, Springer 2018, 343 p.
11. *Kim N.V., Hyun Y.M. and Yang H.K.* Performance analysis of aircraft automatic landing system based on surface image processing, *Proceedings WCSE/UKC 2002, Seoul, 2002*.
12. *Kim N.V., Kuznetsov A.G.* Avtomaticheskaya posadka malogabaritnogo letatel'nogo apparata v osobykh situatsiyakh [Automatic landing of a small-sized aircraft in special situations], *Tr. mezhdunarodnoy konferentsii [Proceedings of the international conference]*. Saint Petersburg, 2010.
13. *Zagoruyko S.N., Kaz'min V.N., Noskov V.P.* Navigatsiya BPLA i 3D-rekonstruktsiya vneshney sredy po dannym bortovoy STZ [UAV Navigation and 3D reconstruction of the external environment according to the onboard STZ], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie [Mechatronics, automation, control]*, 2014, No. 8, pp. 62-68.
14. *Buyvolov G.A., Noskov V.P., Rurenko A.A., Raspopin A.N.* Apparato-algoritmicheskie sredstva formirovaniya modeli problemnoy sredy v usloviyakh peresechennoy mestnosti [Hardware-algorithmic means of forming a model of the problem environment in a rough terrain], *Sb. nauchnykh trudov «Upravlenie dvizheniem i tekhnicheskoe zrenie avtonomnykh transportnykh robotov» [Collection of scientific papers "Traffic control and technical vision of Autonomous transport robots"]*. Moscow: IFTP, 1989, pp. 61-69.
15. *Kalyaev A.V., Noskov V.P., Chernukhin Yu.V., Kalyaev I.A.* Odnorodnye upravlyayushchie struktury adaptivnykh robotov [Homogeneous control structures of adaptive robots]. Moscow: Nauka, 1990, 147 p.
16. *Noskov V.P., Rubtsov I.V.* Opyt resheniya zadachi avtonomnogo upravleniya dvizheniem mobil'nykh robotov [Experience in solving the problem of Autonomous motion control of mobile robots], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie [Mechatronics, automation, control]*, 2005, No. 12, pp. 21-24.5.
17. *Noskov A.V., Rubtsov I.V., Romanov A.Yu.* Formirovanie ob"edinennoy modeli vneshney sredy na osnove informatsii videokamery i dal'nomera [Formation of a unified model of the external environment based on information from a video camera and a rangefinder] *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie [Mechatronics, automation, control]*, 2007, No. 8, pp. 2-5.
18. *Vazaev A.V., Noskov V.P., Rubtsov I.V., TSarichenko S.G.* Raspoznavanie ob"ektov i tipov opornoy poverkhnosti po dannym kompleksirovannoy sistemy tekhnicheskogo zreniya [Recognition of objects and types of the reference surface according to the data of the integrated system of technical vision], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]*, 2016, No. 2 (175), pp. 127-139.

19. Vazaev A.V., Noskov V.P., Rubtsov I.V., Tsarichenko S.G. Kompleksirovannaya STZ v sisteme upravleniya pozharnogo robota [Complexional STZ in the fire control system of the robot], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2017, No. 1 (186), pp. 121-132.
20. Vazaev A.V., Noskov V.P., Rubtsov I.V. Neyrosetevoy modul' vybora etalonov dlya raspoznavaniya tipov opornoj poverkhnosti [Neural network module for selecting standards for recognizing types of reference surfaces], *Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya: Mater. XIV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii i X molodezhnoy shkoly-seminara «Upravlenie i obrabotka informatsii v tekhnicheskikh sistemakh»* [Perspective systems and management tasks: Materials of the XIV all-Russian scientific and practical conference and the X youth school-seminar "Management and processing of information in technical systems"]. Rostov-on-Don; Taganrog: Izd-vo YuFU, 2019, pp. 29-33.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор М.Ю. Медведев.

Ким Николай Владимирович – Московский авиационный институт; e-mail: Nkim2011@list.ru; 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4; тел.: +79037208924; к.т.н.; профессор.

Носков Владимир Петрович – Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; e-mail: noskov_mstu@mail.ru; 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5; тел.: +79166766057; кафедра специальной робототехника и мехатроники; к.т.н.; доцент; НИИ Специального машиностроения; зав. сектором.

Рубцов Иван Васильевич – e-mail: noskov_mstu@mail.ru; тел.: 84992636019; кафедра специальной робототехника и мехатроники; к.т.н.; доцент; НИИ Специального машиностроения; начальник отдела.

Аникин Виктор Андреевич – АО «Камов»; e-mail: rb@kamov.ru; 140070, Московская область, Люберецкий р-н, пос. Томилино, ул. Гаршина, 26/1; тел.: +74959944640; д.т.н.; гл. конструктор.

Kim Nikolay Vkadimirovich – Moscow Aviation Institute; e-mail: Nkim2011@list.ru; 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russia; phone: +79037208924; cand. of eng. sc.; professor.

Noskov Vladimir Petrovich – Bauman Moscow State Technical University; e-mail: noskov_mstu@mail.ru; 5, 2nd Baumanskaya street, Moscow, 105005, Russia; phone: +79166766057; the department of special robotics and mechatronics; cand. of eng. sc.; associate professor; NIISM; sector head.

Rubtsov Ivan Vasil'evich – e-mail: noskov_mstu@mail.ru; phone: +74992636019; the department of special robotics and mechatronics; cand. of eng. sc.; associate professor; NIISM; head of department.

Anikin Viktor Andreevich – Kamov Design Bureau; e-mail: rb@kamov.ru; 26/1, Garshin street, Tomilino, Lyubertsy district Moscow region, 140070, Russia; phone: +74959944640; dr. of eng. sc.; chief designer.

УДК 007:621.865.8

DOI 10.18522/2311-3103-2020-1-25-39

А.И. Наговицин, С.Н. Пестерев, Б.Б. Молоткова, И.В.Аксенов

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ С ЭЛЕМЕНТАМИ
ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ
РАКЕТНЫХ ВОЙСК И АРТИЛЛЕРИИ, ПРИМЕНЯЮЩИХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Представлены задачи, решаемые перспективными РТК ВН в интересах РВиА. Сформулирован вывод о том, что проблема подготовки и повышения качества знаний специалистов РВиА применяющих робототехнические комплексы военного назначения остается одной из актуальных проблем высшего военно-профессионального образования и приобретает новые