УДК 681.586.48:681.5:007.52 DOI: 10.17587/mau.18.759-763

В. П. Андреев, д-р техн. наук, проф., стар. науч. сотр., andreevvipa@yandex.ru,
В. Э. Тарасова, студент (магистрант), viky.ne2@gmail.com,
ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет "СТАНКИН", МЛ "Сенсорика",
Международный Институт новых образовательных технологий
(ФГБОУ ВО "Российский государственный гуманитарный университет"), г. Москва

Определение формы препятствий мобильным роботом с помощью сканирующих угловых перемещений ультразвукового датчика[1]

Приведены результаты исследования использования ультразвукового датчика в сенсорной системе мобильного робота для определения формы препятствия. В работе предлагается определить возможность алгоритмического анализа данных от установленного ультразвукового датчика на управляемом от ЭВМ сканирующем устройстве. Целью является определение формы препятствия — внешнего угла, внутреннего угла, плоской стены, дверного проема с открытой дверью и т. п., и их ориентацию в некоторой системе координат.

Ключевые слова: *мобильный робот, сенсорная система, ультразвуковой датчик, информационно-измерительная и управляющая система*

Введение

Ультразвуковые (УЗ) датчики широко используются в сенсорных системах мобильных роботов (МР), например, в роботе-гуманоиде REEM (рис. 1, см. третью сторону обложки) компании PAL Robotics [1]. Робот используется в качестве экскурсовода, конферансье или "работника", выполняющего различного рода задания. Робот имеет автономную систему навигации, сочетающую УЗ и лазерные датчики, предотвращающие его столкновение с людьми и различными предметами. В роботе ROBOSEM (рис. 2, см. третью сторону обложки) компании Yujin Robot [2], выполняющем функции учителя английского языка в начальных школах, также для обнаружения препятствий используется сочетание УЗ и лазерного датчиков.

УЗ датчик имеет широкую апертуру луча, т. е. большой угол измерения (~30°). Поэтому такой датчик позволяет лишь обнаружить препятствие и определить некоторое расстояние до него. Поскольку неизвестно, от какой точки препятствия получено "эхо", то неизвестно, до какой части препятствия измерено это расстояние. В случае нескольких объектов, перекрывающих зону "видимости" датчика (рис. 3), расстояние может быть определено как до объекта 1, находящегося перед датчиком (например, точка 2), так и до ближайшей точки объекта 2 (точка 1).

Из-за низкой разрешающей способности датчика по пространству отсутствует возможность определять форму препятствия, возникающего на пути движения МР. Например, при перемещениях робота в пространстве жилых или служебных помещений было бы желательно идентифицировать препятствия типа "углы, образованные стенами" (внутренние или внешние), или "дверные проемы" (с открытыми или закрытыми дверями).

Гипотеза исследования: использование сканирующих угловых перемещений УЗ датчика позволит повысить его разрешающую способность, достаточную для определения формы препятствия.

Цель исследования: исследовать возможность использования сканирующих угловых перемещений УЗ датчика для определения формы препятствий в целях организации движения мобильного робота в недетерминированной среде.

Задачи исследования:

1. Разработать и изготовить лабораторный макет управляемого от микроконтроллера и ЭВМ поворотно-наклонного устройства с закрепленным на нем УЗ датчиком.

2. Исследовать возможность использования сканирующих угловых перемещений ультразвукового датчика для повышения его разрешающей способности с помощью изготовленного лабораторного макета и определить параметры сканирующего движения.

3. Предложить алгоритм, позволяющий по показаниям сканирующего УЗ датчика определять форму препятствия.

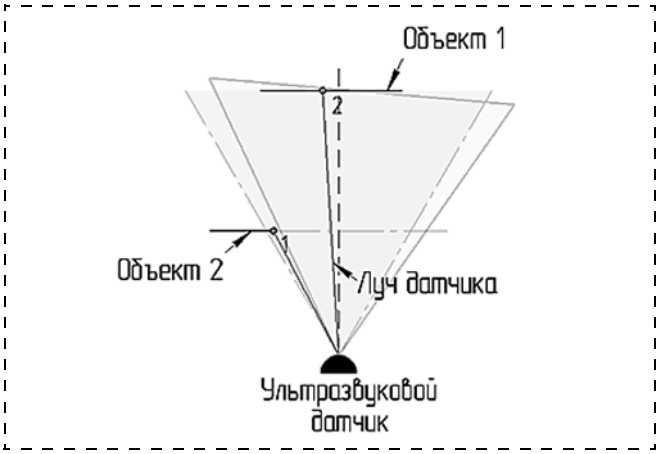

Рис. 3. Измерение УЗ датчиком

[1] Работа выполняется при частичной поддержке РФФИ: гранты 16-07-00811а, 16-07-00935а и 16-07-01264а.

Поворотно-наклонный механизм для организации сканирующих движений УЗ датчика

При повороте датчика происходит смещение области видимости, вследствие чего точка 1 (рис. 3) выходит из зоны апертуры луча, и ближайшей точкой становится точка 2. Вычисляя разность между измеренными расстояниями, можно получить представление о форме препятствия. В работе [3] используется поворот датчика за счет поворота самого МР. Данный метод энергозатратен и обладает низкой точностью (по углу поворота). Предлагается для совершения поворота УЗ датчика в горизонтальной плоскости и наклона датчика в вертикальной плоскости использовать механизм, приведенный на рис. 4 (см. третью сторону обложки).

Механизм состоит из следующих элементов: *1* — сервопривод FS5106B; *2* — поворотный стол; *3* — сервопривод SG90 9G; *4* — уголок; *5* — УЗ датчик HC-SR04; кроме того, на рисунке обозначено: α — азимут, угол между осью OX и направлением на цель; θ — тангаж, угол между осью OY и направлением на цель.

Информационный выход УЗ датчика подключен к микроконтроллеру Arduino Uno, с помощью которого длительность формируемого УЗ датчиком импульса преобразуется в дальность, измеряемую в сантиметрах. Сервоприводы управляются от того же микроконтроллера. Микроконтроллер, в свою очередь, подключен к компьютеру посредством шины USB. Соответствующее программное обеспечение позволяет управлять сервоприводами, которые соответствующим образом изменяют ориентацию УЗ датчика в пространстве с точностью до 1°.

Компьютер подает на микроконтроллер сигнал, задающий угол α поворота вала сервопривода (*1*), изменяющийся дискретно с шагом $\Delta\varphi_1$ (шаг сканирования по горизонтали). После каждого поворота запускается ультразвуковой датчик и выполняется измерение расстояния до объекта, расположенного перед датчиком. В результате формируется строка со значениями измеренных расстояний, соответствующих углу поворота α от $-\alpha_{max}$ до α_{max} в горизонтальной плоскости: $d = f(\alpha)$. Там, где $\Delta d = |d_i - d_{i+1}| > T$, где T — некоторый порог, считаем, что объект заканчивается. Таким образом можно определить ширину находящегося перед нами объекта и угол наклона объекта к оси OX устройства.

Там, где по нашим расчетам находится середина обнаруженного объекта, выполняем сканирование по вертикали аналогично горизонтали. Компьютер подает сигнал, задающий угол θ поворота вала сервопривода (*2*, рис. 4), изменяющийся дискретно с шагом $\Delta\varphi_2$ (шаг сканирования по вертикали). В результате формируется столбец со значениями расстояний, соответствующих углу поворота θ от $-\theta_{max}$ до θ_{max} в вертикальной плоскости: $d = f(\theta)$. Таким образом можно определить высоту находящегося перед нами объекта и угол наклона объекта к оси OY устройства.

Исследование возможности использования сканирующих угловых перемещений УЗ датчика для определения формы препятствий

В данной части работы приведены результаты экспериментов, выполненных для сканирования в горизонтальной плоскости.

▲ ***Идентификация вертикального плоского препятствия, ориентированного под углом к датчику***

Сканирование проводится слева направо (рис. 5). Объект находится на расстоянии d = 20 см, угол сканирования $\alpha_{max} = \pm 30°$ с шагом $\Delta\varphi_1 = 3°$. Результаты приведены в табл. 1.

Алгоритм:

1) исключаем аномальные значения замеров [4] (например, точки, дающие резкий перепад дальности с соседними, $\Delta D_{дат} > T$, где T — заданный порог), в результате остаются только точки, соответствующие объекту;

2) проводим аппроксимацию точек, используя метод наименьших квадратов [5], и определяем угол ориентации ψ плоскости объекта по отношению к роботу (рис. 5).

Таблица 1

Показания УЗ датчика $D_{дат}$ при различных углах поворота

α, °	−30	−27	−24	−21	−18	−15	−12	−9	−6	−3	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
$D_{дат}$, см	54	28	26	25	24	25	24	25	23	21	21	18	18	16	16	15	56	78	77	85	70

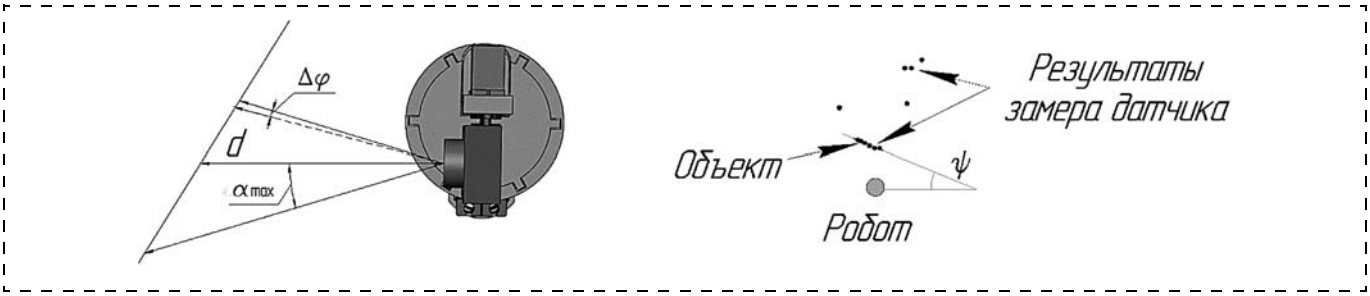

Рис. 5. Схема сканирования плоского препятствия и результаты замера дальности (черные метки)

Таблица 2

Показания УЗ датчика $D_{дат}$ при различных углах поворота

α, °	−30	−27	−24	−21	−18	−15	−12	−9	−6	−3	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
$D_{дат}$, см	19	18	16	17	17	0	15	14	10	14	15	15	16	17	18	18	54	36	54	55	53

Таблица 3

Показания УЗ датчика $D_{дат}$ при различных углах поворота

α, °	−30	−27	−24	−21	−18	−15	−12	−9	−6	−3	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
$D_{дат}$, см	10	0	10	11	11	12	12	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

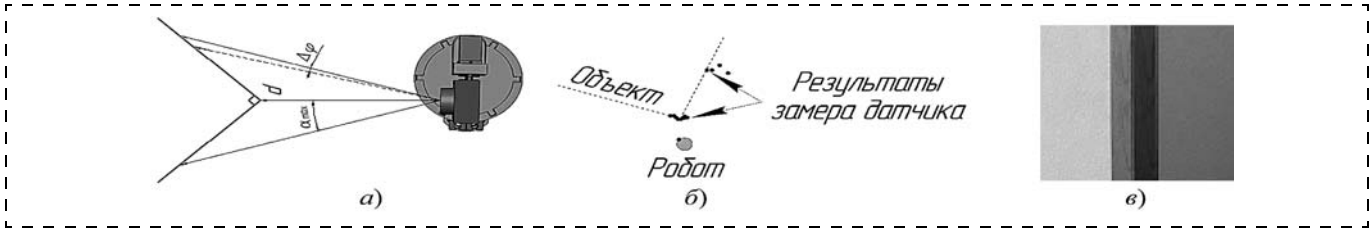

Рис. 6. Схема сканирования внешнего угла (*а*), результаты замеров — черные метки (*б*) и фото объекта (*в*)

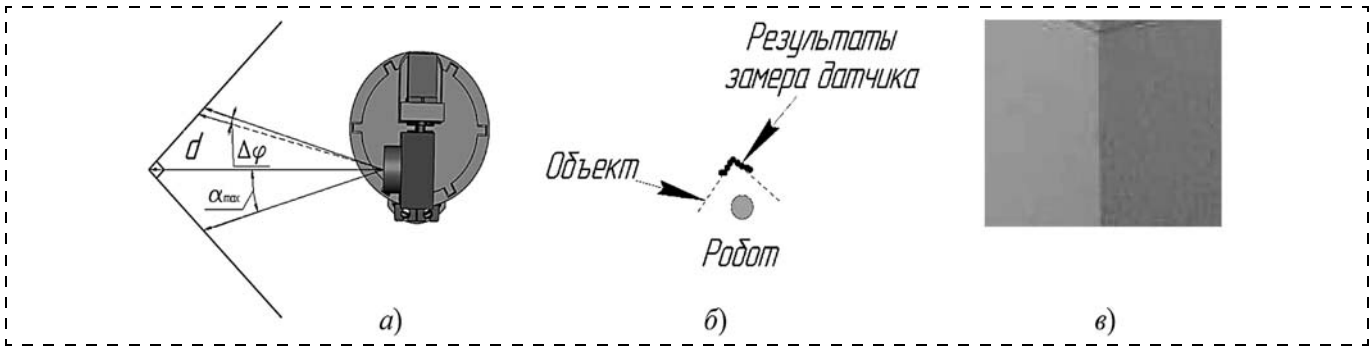

Рис. 7. Схема сканирования внутреннего угла (*а*), результаты замеров — черные метки (*б*) и фото объекта (*в*)

Действие робота: робот может повернуться на данный угол и двигаться параллельно препятствию.

▲ ***Идентификация внешних (выпуклых) углов***

Сканирование проводится слева направо (рис. 6). Объект находится на расстоянии d = 10 см, угол сканирования $\alpha_{max} = \pm 30^\circ$ с шагом $\Delta\varphi_1 = 3^\circ$. Результаты приведены в табл. 2.

Исключив точки, соответствующие аномальным значениям, получаем следующую строку:

19	18	16	17	17	15	14	10	14	15	15	16	17	18	18

Сканирование выполняется слева направо:

1) сначала происходит уменьшение значений дальности $D_{дат}$ (19, 18, 16, 17, 17, 0, 15, 14, 10) — это первая сторона угла;

2) затем происходит последовательное увеличение значений дальности $D_{дат}$ (10, 14, 15, 15, 16, 17, 18);

3) результат анализа: уменьшение, затем увеличение значений, следовательно, это выпуклый угол.

▲ ***Идентификация внутренних (вогнутых) углов***

Сканирование проводится слева направо (рис. 7). Объект находится на расстоянии d = 10 см, угол сканирования $\alpha_{max} = \pm 30^\circ$ с шагом $\Delta\varphi_1 = 3^\circ$. Результаты приведены в табл. 3.

Выполнив анализ подобно описанному выше, приходим к заключению, что перед нами вогнутый угол (увеличение, затем уменьшение значений).

▲ ***Идентификация "дверных проемов"***

Сканирование проводится при полностью открытой двери и при не полностью открытой двери (рис. 8). Результаты замеров (черные метки): объ-

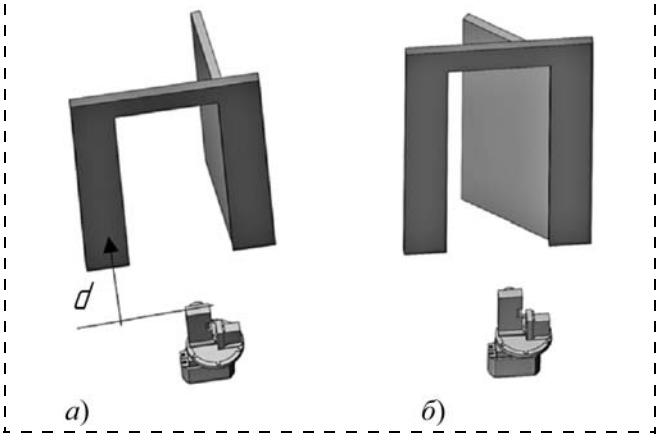

Рис. 8. Схема сканирования открытых дверей: полностью открытая дверь (*а*); приоткрытая дверь (*б*)

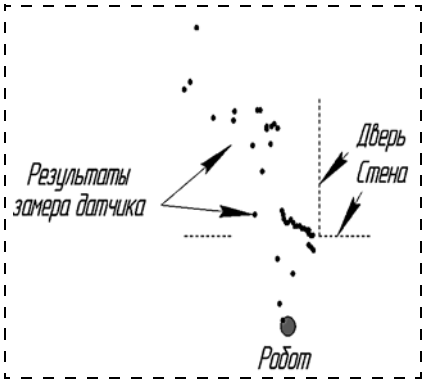

Рис. 9. Открытая дверь, d_1 = 30 см

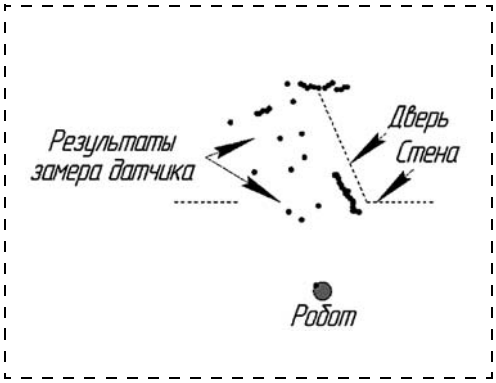

Рис. 10. Приоткрытая дверь, d_1 = 30 см

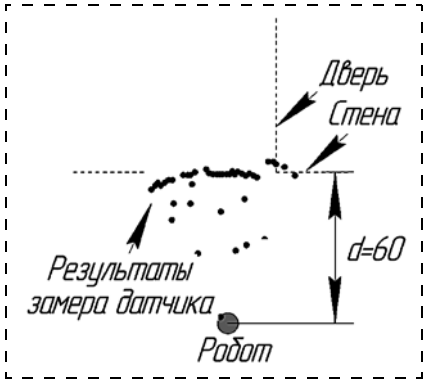

Рис. 11. Расстояние d_2 = 60 см

ект находится на расстоянии d_1 = 30 см (рис. 9 и рис. 10); d_2 = 60 см (рис. 11), угол сканирования $\alpha_{max} = \pm 30^\circ$ с шагом $\Delta\varphi_1 = 1^\circ$.

Робот, находясь на расстояниях более 50 см от дверного проема, ширина которого d_2 = 60 см, дверной проем не обнаруживает (рис. 11).

Заключение

Использование сканирующих угловых перемещений УЗ датчика позволяет определять форму препятствия типа "внешний угол", "внутренний угол", "плоская стена", "дверной проем с открытой дверью" и т. п., и их ориентацию в некоторой системе координат.

УЗ датчики предполагается в дальнейшем использовать в сенсорной системе гетерогенного модульного мобильного робота [6].

Список литературы

1. **Гуманоидный** робот REEM-C. URL: https://robo-hunter.com/resume/gumanoidnii-robot-reem-c (дата обращения: 29.05.2017).

2. **Робот** ROBOSEM учит корейских детишек английскому. URL: http://www.prorobot.ru/07/robot_robosem.php. — Загл. с экрана (дата обращения: 29.05.2017).

3. **Ташев А. А.** Разработка робота на основе ультразвукового дальномера. URL: http://oreluniver.ru/file/chair/aplast/nol/Tashev_Fedorov.pdf. (дата обращения: 29.05.2017).

4. **Касандрова О. Н., Лебедев В. В.** Обработка результатов наблюдений. М.: Наука, 1970.

5. **Линник Ю. В.** Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. М.: Физматлит, 1962.

6. **Андреев В. П., Ким В. Л., Подураев Ю. В.** Сетевые решения в архитектуре гетерогенных модульных мобильных роботов /// Робототехника и техническая кибернетика. 2016. № 3 (12). С. 23—29.

Determination of the Form of Obstacles by a Mobile Robot Using Scanning Angular Movements of Ultrasonic Sensor

V. P. Andreev, andreevvipa@yandex.ru, **V. E. Tarasova,** andreevvipa@yandex.ru✉,
MSTU "STANKIN", International Laboratory "Sensorika",
International Institute of the New Educational Technologies, RSUH, Moscow

Corresponding author: **Tarasova Victoria E.,** student, MSTU "STANKIN", International Laboratory "Sensorika", International Institute of the New Educational Technologies, RSUH, Moscow, Russian Federation
e-mail: andreevvipa@yandex.ru

Accepted on August 07, 2017

The article contains results of research on the possibility of using an ultrasonic sensor in the sensor system of a mobile robot to determine the shape of the obstacle. The ultrasonic sensor has a wide beam aperture, i.e. large measuring angle (measuring angle ~30°). Therefore, such a sensor allows only detecting an obstacle and determining a certain distance to him. But it is not known from which obstacle point the "echo" is received and it is not known to what part of the obstacle this distance is measured. The sensor cannot determine the shape of the obstacle because of low space resolution. For example, when a robot moves in a residential or office rooms, it would be desirable to identify obstacles such as "corners formed by walls" (internal or external) or "doorways" (with doors open or closed). A hypothesis was proposed that the use of scanning angular movements of the ultrasonic sensor will increase its resolution, required to determine the shape of the obstacle. The pivot-tilt mechanism was developed and assembled. The ultrasonic sensor attached on this computer-controlled mechanism and by algorithmic analysis of the data coming from the sensor during the scanning process, the form of the obstacle was recognized. Was found that using of algorithmic analysis is possible to determine the shapes of flat object, such as: "flat wall", "outer corner", "inner corner", "door opening with an open door", etc. This mechanism is expected to be used in the sensor system of a heterogeneous modular mobile robot.

Keywords: *mobile robot, sensor system, ultrasonic sensor, information-measuring and control system*

Acknowledgements: the work is carried out with the partial support of the RFFI: grants 16-07-00811a, 16-07-00935a and 16-07-01264a.

For citation:

Andreev V. P., Tarasova V. E. Determination of the Form of Obstacles by a Mobile Robot Using Scanning Angular Movements of Ultrasonic Sensor, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie,* 2017, vol. 18, no. 11, pp. 759—763.

DOI: 10.17587/mau.18.759-763

References

1. **The humanoid** robot REEM-C, available at: https://robohunter.com/resume/gumanoidnii-robot-reem-c. — Ver. from the screen (date of circulation: 29/05/2017) (in Russian).

2. **Robot** ROBOSEM teaches Korean kids English, available at: http://www.prorobot.ru/07/robot_robosem.php. Ver. from the screen (date of access: 29/05/2017) (in Russian).

3. **Tashev A. A.** *Razrabotka robota na osnove ultrazvukovogo dalnomera* (The development of a robot based on an ultrasonic rangefinder), available at: http://oreluniver.ru/file/chair/aplast/nol/Tashev_Fedorov.pdf (date of access: 29/05/2017) (in Russian).

4. **Kasandrova O. N., Lebedev V. V.** *Obrabotka resultatov nabludenii* (Observation of results), Moscow, Nauka, 1970.

5. **Linnik U. V.** *Metod naimenshih kvadratov i osnovi matematiko-statisticheskoi teorii obrabotki nabludenii* (Ordinary Least Squares and the fundamentals of the mathematical and statistical theory of observation processing), Moscow, Fizmitlit, 1962 (in Russian).

6. **Andreev V. P., Kim V. L., Poduraev Yu. V.** *Setevii reshenia v architecture geterogennih modulnih robotov* (Network solutions in the architecture of heterogeneous modular mobile robots), *Robotics and technical cybernetics,* 2016, no. 3 (12), pp. 23—29 (in Russian).

УДК 621.865.8 DOI: 10.17587/mau.18.763-766

Н. А. Рудианов, д-р техн. наук, доц., нач. отдела, rudianov_1980@mail.ru,
В. С. Хрущев, канд. техн. наук, доц., вед. науч. сотр., wasserX@yandex.ru,
ФГБУ "3 Центральный научно-исследовательский институт" МО РФ, г. Москва

Организация приобретения и формализации знаний интеллектуальных систем перспективных автономных робототехнических комплексов военного назначения в ходе опытно-войсковой эксплуатации дистанционно управляемых комплексов

Рассматриваются вопросы приобретения знаний для построения интеллектуальных систем управления вооружением автономных наземных роботов. Предлагается такой этап жизненного цикла, как опытно-войсковая эксплуатация робототехнических комплексов военного назначения, использовать для определения облика и формирования интеллектуальных систем принятия решений, приобретения и формализации знаний о типовых задачах функционирования, перечне, характеристиках и признаках типовых целей, последовательности действий, перечне возникающих альтернатив при принятии решений в ходе боевой работы и правилах их выбора.

Ключевые слова: *робототехнические комплексы военного назначения, интеллектуальные системы управления вооружением, автономное управление, групповое применение*

В работе [1] показано, что в случае, когда робототехнический комплекс (РТК) оснащается вооружением ближнего боя, его применение в режиме дистанционного управления становится нерациональным, так как эффективное функционирование робота требует участия нескольких операторов, обеспечивающих движение робота, разведку обстановки, поиск и выбор цели, обстрел и оценку результатов стрельбы, принятие тактических решений. Дистанционно управляемые РТК имеют ряд принципиальных недостатков и ограничений: повышенные требования к каналу связи, ограниченный радиус действия, демаскировка объекта и пункта управления, а также возможность применения средств радиоэлектронного и огневого противодействия вследствие интенсивного радиообмена.

Применение различных методов повышения эффективности дистанционного управления имеет смысл для решения специальных задач или задач обеспечения при одиночном применении РТК. При массовом использовании в боевых действиях групп разнородных комплексов дистанционное управление как основной способ управления РТК будет неприемлемо.

Практически все усилия по повышению уровня автономности РТК в настоящее время связаны с автономным движением, а движение является лишь одним из этапов процесса боевой работы. Обеспечение автономности функционирования роботов и их групп, находящихся на значительном удалении от центра управления, при выполнении ими задач по назначению связано прежде всего с разработкой интеллектуальных систем управления вооружением боевых роботов, включая все основные фазы боевой работы: поиск и обнаружение целей, оценка их важности (опасности), выбор цели для обстрела, выбор оружия и методов стрельбы, наведение оружия, стрельба, оценка результатов стрельбы и перенос огня.

Существует целый ряд методов решения задач, составляющих основу интеллектуальных систем управления, основанных на приобретении и формализации знаний. Выбор метода решения конкретных задач зависит от многих факторов [2].

Во-первых, должно быть достигнуто соответствие метода принятия решений характеристикам задачи:

- определенность (относительно каждой альтернативы известно, что она неизменно приводит к