

8. *Romano P., Rodrigues L., Carvalho N., Cachopo J.P.* Cloud-TM: harnessing the cloud with distributed transactional memories // In Proc. ACM SIGOPS Operating Systems Review. – 2010. – Vol. 44 (2). – P. 1-6.
9. *Harris T., Fraser K.* Language support for lightweight transactions // In Proc. ACM SIGPLAN Conf. on Object-Oriented Prog., Sys., Langs., and Apps (OOPSLA 2003), 26-30 October 2003, Anaheim, CA, USA. – P. 388-402.
10. *Bocchino R. L., Adve V. S., Chamberlain B. L.* Software transactional memory for large scale clusters // In Proc. ACM SIGPLAN Symp. on Principles and Practice of Parallel Prog. (PPOPP 2008), 20-23 February 2008, Salt Lake City, UT, USA. – P. 247-258.
11. *Herlihy M., Sun Y.* Distributed transactional memory for metric-space networks // In Proc. International Symposium on Distributed Computing (DISC 2005), 26-29 September 2005, Cracow, Poland. – P. 324-338.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска.

Данилов Игорь Геннадьевич – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: vainamon@hpcmor.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский 44; тел.: 88634371773; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; аспирант.

Danilov Igor Gennad'evich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: vainamon@hpcmor.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371773; the department of software engineering; post-graduate student.

УДК 004.896

Ю.В. Чернухин, Р.В. Сапрыкин, П.А. Бутов, Ю.С. Доленко

МОБИЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА С ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Рассматриваются недостатки использования робототехнических платформ с жесткой архитектурой для реализации на их базе бортовых систем, реализующих эвристические алгоритмы управления. Предложена гетерогенная перестраиваемая архитектура робототехнической платформы, объединяющая PC-совместимый микрокомпьютер, используемый для реализации высокоуровневой логики системы управления и ПЛИС для реализации низкоуровневой логики и специфических аппаратных решений. Рассмотрены первый прототип разрабатываемой платформы и первые экспериментальные исследования на ее базе с использованием виртуальной моделирующей среды NAME.

Мобильный робот; перестраиваемая структура; гетерогенная система управления; ПЛИС.

U.V. Chernukhin, R.V. Saprykin, P.A. Butov, U.S. Dolenko

MOBILE ROBOTIC PLATFORM WITH CONFIGURABLE HETEROGENEOUS CONTROL SYSTEM

Shortcomings of robotic platforms with hard architecture for on-board systems implementing heuristic control algorithms are reviewed. A robotic system with heterogeneous configurable architecture is offered, combining PC-compatible microcomputer used to implement high-level control system logic and an FPGA for low-level logic and specific hardware solutions implementation. The first prototype of the platform being designed is analyzed and first experimental research on its base with NAME virtual modelling system is discussed.

Mobile robot; configurable architecture; heterogeneous control system; FPGA.

Мобильные роботы (МР) используются во многих областях науки и техники. Особенно хорошо МР зарекомендовали себя для решения задач в условиях, в которых деятельность человека либо затруднена, либо вообще невозможна. Это, прежде всего, относится к таким задачам, как функционирование МР в глубоководных условиях, открытом космосе, зонах радиоактивного или химического загрязнения, в районах природных бедствий, боевых действий и т.п.

Основным направлением развития современных МР является переход от управляемых человеком-оператором МР, к автономным МР (АМР), наделенным собственными интеллектуальными системами управления. В последнем случае, человек-оператор определяет набор конечных целей, а всю работу по выделению и решению промежуточных задач, таких как построение маршрута перемещения в пространстве, выработка той или иной реакции на изменения во внешней среде и тому подобное берет на себя интеллектуальная система управления АМР.

На сегодняшний день достигнут определенный прогресс в области построения высокоточных исполнительных механизмов, а также разнообразных сенсорных систем (одометрические датчики, системы спутниковой навигации, сонары, лазерные сканирующие дальномеры и т.д.). Однако теоретико-алгоритмическая база, позволяющая АМР автономно взаимодействовать с окружающей внешней средой, на данный момент все еще находится на начальном этапе своего становления.

В связи с отсутствием адекватной теоретико-алгоритмической базы, основой методологии современной интеллектуальной робототехники являются экспериментальные исследования, позволяющие эмпирически оценивать эффективность исследуемых алгоритмов интеллектуального поведения АМР. При этом используются два основных метода постановки экспериментов в робототехнике: компьютерное моделирование и натурный эксперимент.

Компьютерное моделирование подразумевает наличие трех компонентов: непосредственно самой вычислительной системы (компьютера), виртуальной моделирующей среды (например, Microsoft Robotics Developer Studio [1], NAME [2]) и подлежащего верификации и оценке эффективности алгоритма интеллектуального управления АМР. Существенным недостатком компьютерного моделирования является присущее любой сколь угодно точной модели несоответствие реальному прототипу. Необходимость упрощения этой модели, а также протекающих в ней физических процессов и самого АМР, вызванная ограниченностью используемых вычислительных ресурсов, приводит к несоответствию результатов моделирования и действительным поведением АМР, функционирующего в условиях реального мира.

Натурный эксперимент подразумевает построение физического прототипа АМР и его системы управления. Такой подход, по сравнению с компьютерным моделированием, позволяет более точно оценивать работоспособность и эффективность исследуемого алгоритма управления, однако влечет за собой существенное увеличение финансовых и временных затрат.

Существенно сократить временные затраты на построение физического прототипа АМР позволяют специализированные робототехнические платформы, специально предназначенные для решения задач верификации и оценки эффективности алгоритмов управления автономными мобильными роботами. Примерами таких платформ могут служить продукты компаний DFRobot [3], K-Team [4] и др. В качестве основы бортовой вычислительной системы таких платформ используются микроконтроллеры с жесткой (неперестраиваемой) архитектурой или РС-совместимые микрокомпьютеры.

Робототехническая платформа Hemisson [4] компании K-Team использовалась в рамках исследований эффективности применения бионического метода

адаптивного управления [5] для решения задач навигации АМР, проводимых лабораторией искусственного интеллекта и нейрокомпьютерной техники (ИИиНТ) кафедры ВТ ТТИ ЮФУ (рис. 1). Данная платформа представляет собой приводимое в движение двумя двигателями постоянного тока эргономичное шасси, снабженное управляющим микроконтроллером, набором сенсоров, Bluetooth-модулем и съемным манипулятором.

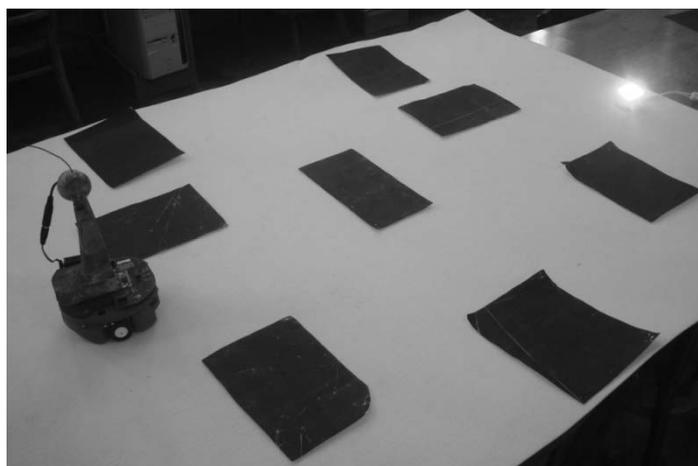


Рис. 1. Натурный эксперимент с применением робота Hemisson

Эксперименты показали, что ресурсы бортового микроконтроллера не позволяют программно воспроизводить подлежащий исследованию алгоритм нейросетевого интеллектуального управления. В связи с этим он был реализован на удаленном стационарном компьютере, связанном с бортом робота по радиоканалу. Кроме того, платформа Hemisson была дооснащена широкоугольной камерой, способной адекватно отражать состояние внешней среды и необходимым для ее установки конструктивом. Информация с бортовой камеры передавалась по радиоканалу на стационарный компьютер, который при помощи исследуемого нейросетевого бионического алгоритма на основе полученных данных вырабатывал управляющие воздействия для подвижной платформы. Эти воздействия в виде команд возвращались на борт робота посредством радиоканала.

Бионический метод адаптивного управления априори является параллельным алгоритмом. В соответствии с данным алгоритмом, расчет оптимального направления перемещения АМР на каждом шаге выполняется за счет распространяющихся по нейронной сети волн возбуждения. Реализация такого алгоритма на вычислительной системе последовательного типа (пусть даже многопроцессорной) малоэффективна. В связи с этим, лабораторией ИИиНТ был построен аппаратный нейроакселератор [6], позволивший значительно ускорить нейровычисления, лежащие в основе бионического метода адаптивного управления.

Данный нейроакселератор, названный модулем управляющей нейросети (МУН), был реализован на базе ПЛИС, встроенной в структуру системы управления, установленной на стационарном компьютере. Использование МУН позволило существенно увеличить производительность рассмотренной выше системы управления робототехнической платформой Hemisson. Структура полученной после модификации системы управления приведена на рис. 2.

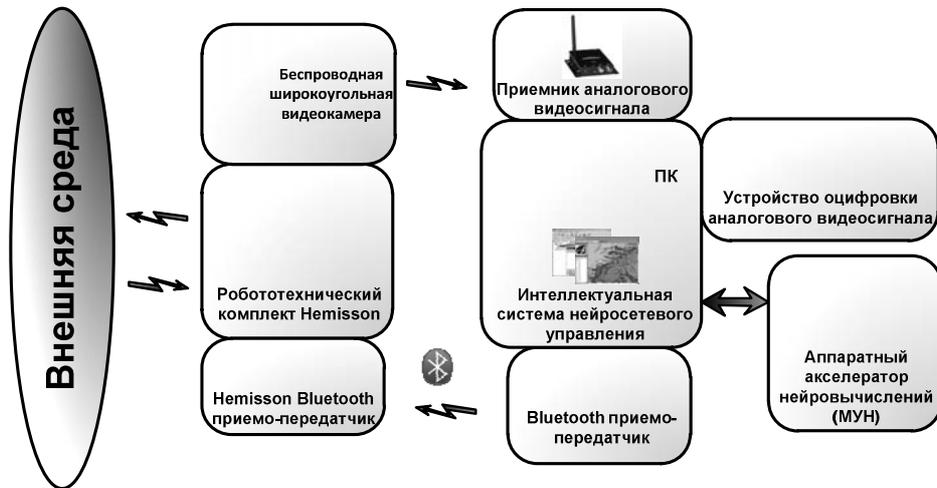


Рис. 2. Структура модифицированной системы управления АМР на базе платформы Hemisson

В то же время анализ показал, что в настоящее время реализация бортового варианта такой системы на борту платформы Hemisson не представляется возможной. Отмеченное обстоятельство связано с рядом ограничений данной платформы, выявленных в ходе экспериментальных исследований.

Прежде всего, ограничения касаются бортовой вычислительной системы робота. Ее низкая производительность, рассчитанная на реализацию тривиальных алгоритмов управления, не позволяет воспроизводить сложные эвристические и нейросетевые алгоритмы. Интерфейсы для подключения внешних устройств к платформе ограничиваются шиной I2C, что существенно сужает спектр доступных для подключения к ней сенсоров и дополнительных вычислительных ресурсов. Кроме того, малая грузоподъемность платформы Hemisson затрудняет ее модификацию дополнительными, не входящими в комплект поставки, устройствами.

Анализ доступных на рынке робототехнических платформ показал, что отмеченные ограничения (за исключением, возможно, последнего) касаются большинства из них. В связи с этим лабораторией ИИиНТ было принято решение о разработке собственной робототехнической платформы, свободной от указанных ограничений.

Ключевой особенностью предлагаемого подхода к построению робототехнических платформ является перестраиваемая гетерогенная архитектура. Под гетерогенностью понимается использование бортового РС-совместимого микрокомпьютера для организации высокоуровневой логики и пользовательского интерфейса, а также ПЛИС для реализации низкоуровневой логики и нестандартных аппаратных решений (в т.ч. нейросетевых). Возможность конфигурирования данной системы управления как на аппаратном (средствами ПЛИС), так и на программном уровнях дает разрабатываемой платформе существенные преимущества по сравнению с имеющимися на рынке аналогами, в основе которых лежит использование микроконтроллеров (или РС-совместимых микрокомпьютеров) с жесткой архитектурой. Данные преимущества обеспечивают:

1. Возможность реализации и верификации как аппаратных, так и программных алгоритмов нейросетевого интеллектуального управления.
2. Возможность реализации и верификации как тривиальных, так и ресурсоемких эвристических алгоритмов интеллектуального управления.

3. Отсутствие ограничений на подключение внешних устройств (сенсоров, эффекторов, дополнительных вычислителей), что позволяет добавлять требуемый интерфейс для связи с внешними устройствами на любом этапе жизненного цикла реализуемого пользователем проекта.

В рамках предлагаемого подхода приведенная на рис. 2 стационарная система нейросетевого управления АМР, решающего задачи навигации в неформализованном окружающем робота пространстве, преобразуется к бортовой схеме, структура которой показана на рис. 3.

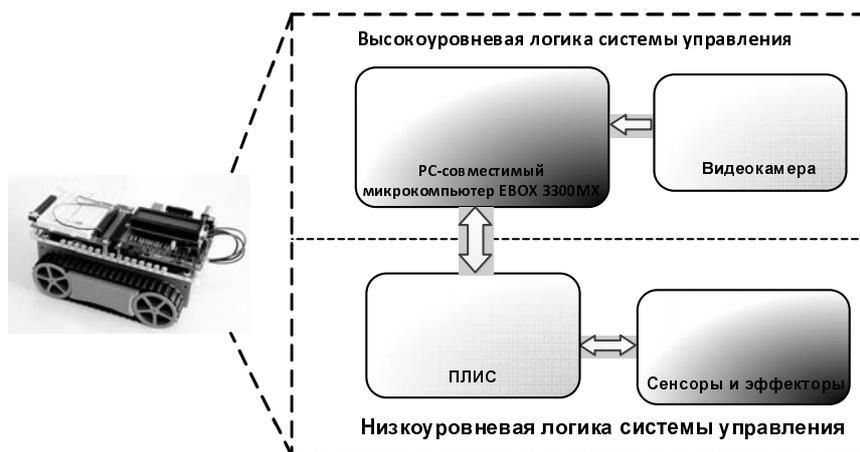


Рис. 3. Структура бортовой системы управления АМР в рамках предложенного подхода

В настоящее время построен первый опытный образец платформы (см. рис. 4).

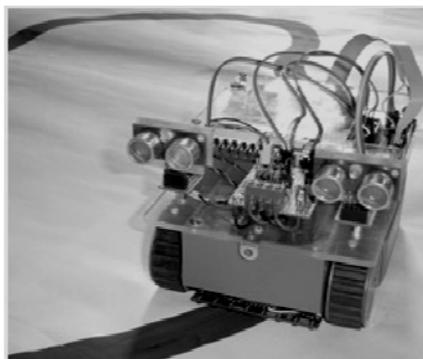


Рис. 4. Внешний вид разработанной робототехнической платформы с перестраиваемой гетерогенной системой управления

Данный образец базируется на танковом гусеничном шасси Pololu RP5. Его перестраиваемая гетерогенная вычислительная архитектура реализована на базе ПЛИС, входящей в состав отладочной платы Terasic DE0 и PC-совместимого микрокомпьютера EVOX 3300MX. Для платформы реализована поддержка основных интерфейсов сопряжения с внешними устройствами (I2C, RS232, SPI, USB), а также разработаны драйверы таких широко распространенных на рынке сенсоров, как SRF08 (ультразвуковой сонар), QTR-8RC (цифровой датчик линии), LSM303DLH (3-осевой акселерометр и компас) и т.д.

Средствами платформы уже можно реализовывать такие базовые алгоритмы как «адаптивное движение по линии» и «робот-сумо». В ближайшее время на следующем этапе разработки проекта будет реализована необходимая высокоуровневая логика для решения таких эвристических задач, как интеллектуальная навигация и автономное картографирование естественной среды.

Разработан и отлажен механизм взаимодействия робототехнической платформы и виртуальной моделирующей среды NAME [2], для этого структурная схема NAME дополнена необходимыми модулями (см. рис. 5).

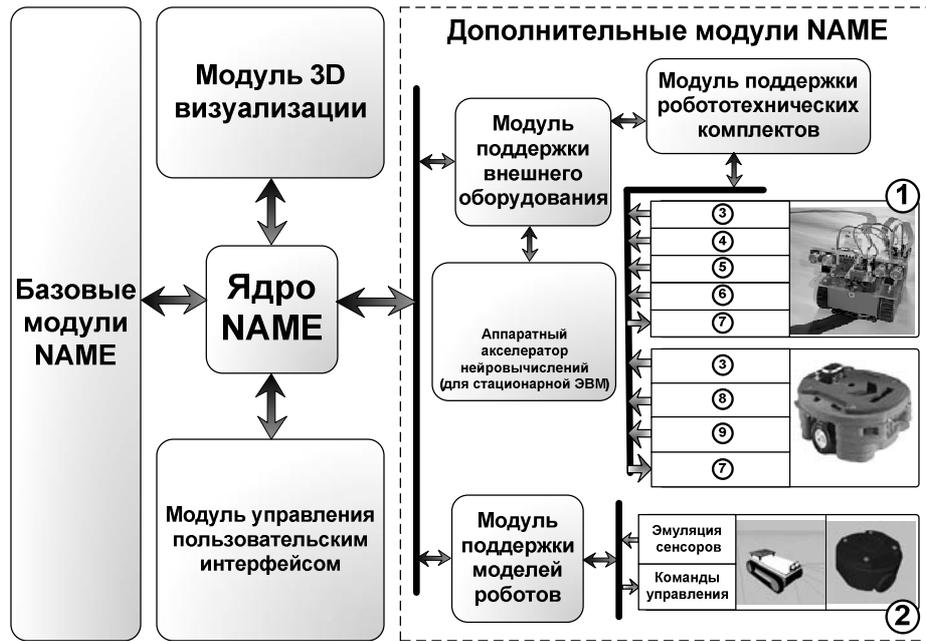


Рис. 5. Дополненная структурная схема виртуальной моделирующей среды NAME

В виртуальной моделирующей среде NAME реализована поддержка как реальных робототехнических платформ (на рис. 5 цифра 1), так и их программных моделей (на рис. 5 цифра 2), а также обозначены следующие элементы: 3 – расстояние до препятствий (данные от сонаров), 4 – пройденный путь (данные от одометрического датчика), 5 – положение в пространстве (данные от компаса), 6 – цвет поверхности (данные от датчика линии), 7 – команды управления, 8 – наличие вблизи препятствий (данные от ИК датчиков), 9 – изображение (данные от камеры).

Проведен ряд экспериментов, в ходе которых в виртуальной среде NAME в режиме реального времени воспроизводилась упрощенная модель внешней среды (на основе показаний бортовых датчиков робота) (см. рис. 6).

Кроме того, на программной модели робототехнической платформы в среде NAME реализован алгоритм локализации робота в лабиринте методом Монте-Карло (см. рис. 7)

На рис. 7 цифрами отмечены следующие этапы эксперимента:

- 1 – робот размещается в лабиринте;
- 2 – рассчитываются вероятности нахождения робота в каждой точке лабиринта;

- 3 – во время исследования лабиринта определяются зоны с наиболее вероятным нахождением робота;
- 4 – в конечном итоге робот окончательно локализуется в лабиринте.

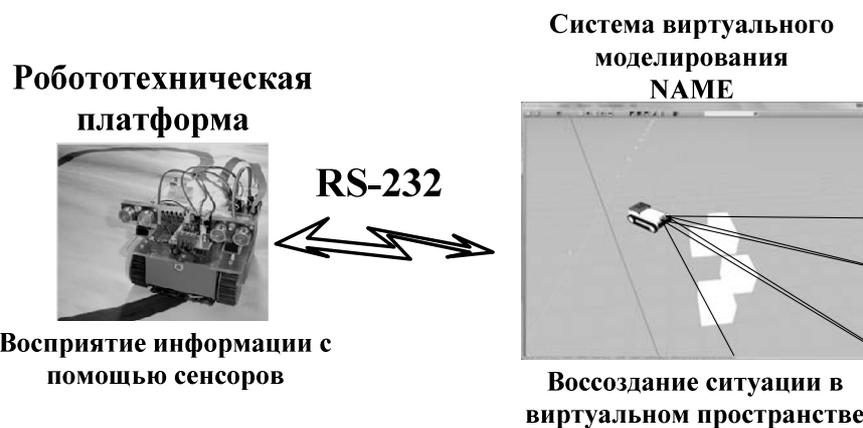


Рис. 6. Экспериментальные исследования разработанной платформы в среде NAME

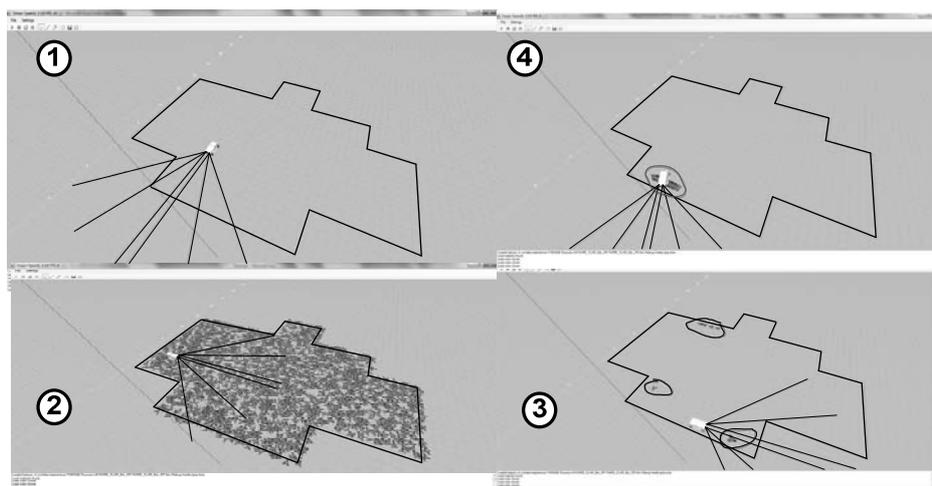


Рис. 7. Экспериментальные исследования алгоритма локализации робота в лабиринте на базе NAME

Дальнейшим развитием исследований в данной области является экспериментальная проверка алгоритма локализации в лабиринте на описанной выше робототехнической платформе в реальной среде, а также разработка и верификация алгоритмов автономного картографирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт проекта Microsoft Robotics Developer Studio <http://www.microsoft.com/robotics/> (дата обращения: 21.04.2011).
2. Чернухин Ю.В., Сапрыкин Р.В. Система виртуального моделирования поведения интеллектуальных агентов при исследовании ими естественной среды функционирования // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – №. 11 (88). – С. 19-24.

3. Сайт компании DFRobot <http://www.dfrobot.com/> (дата обращения: 21.04.2011).
4. Сайт компании K-Team <http://www.k-team.com/> (дата обращения: 21.04.2011).
5. Чернухин Ю.В. Нейропроцессорные сети. – М.: Изд-во ТРТУ, 1999. – 439 с.
6. Чернухин Ю.В., Сапрыкин Р.В., Бутов П.А. Подходы к реализации нейросетевых систем управления мобильными роботами // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 1 (114). – С. 157-162.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Чернухин Юрий Викторович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: chernukhin@dce.tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.; тел.: 88634371656; кафедра вычислительной техники; профессор.

Сапрыкин Роман Владимирович – e-mail: rsaprykin@gmail.com; кафедра вычислительной техники; ведущий инженер.

Бутов Павел Александрович – e-mail: pbootoff@gmail.com; кафедра вычислительной техники; аспирант.

Доленко Юрий Сергеевич – e-mail: dolenko.yury@gmail.com; кафедра вычислительной техники; аспирант.

Chernukhin Yuri Victorovich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: chernukhin@dce.tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; professor.

Saprykin Roman Vladimirovich – e-mail: rsaprykin@gmail.com; the department of computer engineering; engineer.

Butov Pavel Alexandrovich – e-mail: pbootoff@gmail.com; the department of computer engineering; postgraduate student.

Dolenko Yuri Sergeevich – e-mail: dolenko.yury@gmail.com; the department of computer engineering; postgraduate student.

УДК 621.321

Г.Л. Виноградова, А.Н. Серёдкин

МОДЕЛИ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКОМАШИННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ КООПЕРАЦИЕЙ

Показаны необходимость и возможность автоматизации управления в региональных структурах агропромышленного комплекса. Рассмотрена организация реализации управленческих функций в трёхуровневой системе с подсистемами с различной степенью автоматизации. Дано формализованное описание факторов качества управленческих решений, принимаемых в человекомашинной системе (ЧМС). Исследуется влияние надёжности ЧМС-управления организацией на качество управленческих решений. Рассматриваются вопросы оценки надёжности человекомашинной системы управления системой сельскохозяйственной потребительской кооперации (СПоК). Предложены система показателей и расчётные формулы оценки надёжности ЧМС.

Модели; принятие решений; информационная система; надёжность.