

УДК 681.3:681.5

А.В. Кычкин, С.А. Артемов, В.А. ВласовПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ
МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Рассматривается подход к синтезу структуры информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС) мобильной платформы и выбору ее элементов. Предложены этапы структурного синтеза информационно-измерительной и управляющей системы, проведены обзор и анализ конструкций мобильных платформ, пригодных для решения поставленных задач. Разработана структура измерительной подсистемы мобильной платформы, а также обобщенная структурная схема ИИУС. Суть подхода структурного синтеза заключается в последовательном выборе элементов обобщенной структуры ИИУС, построенной на основании начальных требований и целей технологического процесса. На основании исходных данных объекта роботизации формируются входные критерии, которые поступают на вход блоков выбора элементов системы. Работа выполнена в соответствии с государственным заданием (заказ-наряд 1047) по теме «Создание мобильной интеллектуальной платформы на базе технологии виртуальной реальности, элементов и систем управления, пригодных для эксплуатации в экстремальных условиях внешней среды».

Ключевые слова: синтез структуры, информационно-измерительная система, система управления, мобильная платформа.

A.V. Kichkin, S.A. Artyemov, V.A. Vlasov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**STRUCTURAL SYNTHESIS OF INTEGRATED CONTROL AND
INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM OF MOBILE PLATFORM**

The paper deals with studying the structural synthesis method of the integrated control and information management system (ICIMS) of mobile platform and its components selection. There are suggested stages for structural synthesis of the integrated control and information management system; mobile platforms constructions have been overviewed and analyzed with the purpose of their suitability for solving particular problems. The structure of the mobile platform measurement subsystem has been developed, and principal structural pattern for the integrated control and information management system has been created. The main idea of the structural synthesis method is in the consequent components selection for the principal structural pattern of ICIMS based on technological process initial requirements and purpose. According to basic data for robot application some input criteria are formed which then enter the system components selection unit. The total work has been completed in accordance with the Government order (service order 1047) for «Development of mobile intelligent platform on the basis of virtual reality technology, control elements and systems, adaptable for use in extreme environment conditions».

Keywords: structural synthesis, integrated control and information management system, control system, mobile intelligent platform.

Современной ступенью развития человеческого общества являются автоматизация труда и замена его роботами. Необходимость в этом обусловлена усложнением технологических процессов, наращиванием скорости и объемов производства, монотонностью работы, а также опасными факторами для человека. Применение роботов на производствах, транспорте обеспечивает высокое качество и скорость выполнения технологических операций [1, 2]. Большое распространение получили бытовые роботы.

Сегодня на фоне мирового роботостроения значительно выделяются развитые страны, такие как Япония, США и Корея. Как видно, здесь наиболее развит рынок электроники, имеются специалисты и высокотехнологичная техника по проектированию и разработке автоматизированных систем. В России на сегодняшний день решение практических задач с помощью робототехники широко не развито, однако отмечается высокий интерес к этому вопросу со стороны специалистов промышленного, военного и других секторов экономики. В связи с этим данное направление работы крайне актуально, в том числе для образовательных учреждений технических профилей, где могут подготовить новое поколение специалистов по робототехнике. Актуальность и практическая значимость разработки структуры и аппаратных средств информационно-измерительной и управляющей системы мобильной робототехнической платформой подтверждаются государственным заданием 1047.

Этапы структурного синтеза информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС)

Для достижения поставленных в госзадании целей были выявлены следующие этапы разработки ИИУС:

- 1) разработка подсистемы управления исполнительными органами:
 - 1.1) обзор существующих робототехнических платформ;
 - 1.2) сравнительный анализ платформ по критериям использования, применения и эффективности;
 - 1.3) разработка структуры подсистемы управления;
 - 1.4) разработка методик и принципов работы подсистемы управления;
- 2) разработка измерительной (сенсорной) подсистемы:
 - 2.1) анализ задач, решаемых сенсорной подсистемой;

- 2.2) выбор датчиков подсистемы в зависимости от задач;
- 2.3) разработка структуры измерительной подсистемы;
- 2.4) разработка методик и принципов работы измерительной подсистемы;
- 3) систематизация полученных данных, разработка обобщенной схемы ИИУС;
- 4) выбор элементов схемы ИИУС:
 - 4.1) определение входных критериев и выходных параметров;
 - 4.2) разработка схемы выбора элементов ИИУС.

Обзор и анализ конструкций мобильных платформ. На сегодняшний день классификация роботов по их конструктивному исполнению настолько широка, что она охватывает почти все виды деятельности человека, а также микромира. По виду исполнения в классификацию включены роботы практически со всеми способами передвижения в пространстве.

Для решения разнопрофильных задач необходимо использовать различные конструкции роботизированных платформ. Выделим наиболее распространенные задачи и критерии оценки (табл. 1) роботизированных платформ, существующих на сегодняшний день: перевозка грузов, исследование или обработка/очистка территории, экологический мониторинг, измерения параметров протяженных объектов, тушение пожаров, поиск пострадавших в завалах, исследование труднодоступных мест. Сравнение платформ произведем на основе экспертных оценок.

Таблица 1

Критерии оценки мобильных платформ

№ п/п	Обозначение критерия	Наименование
1	K_1	Скорость перемещения
2	K_2	Грузоподъемность
3	K_3	Проходимость
4	K_4	Управляемость
5	K_5	Автономность
6	K_6	Простота конструкции
7	K_7	Габариты
8	K_8	Маневренность
9	K_9	Защита от внешних факторов

Для оценки согласованности предоставляемых экспертами рангов произведен расчет коэффициента конкордации Кендалла согласно выражению [3]:

$$W = \frac{12 \sum (r_j - r_{j\text{cp}})^2}{m^2 (n^3 - n)},$$

где W – коэффициент конкордации; r_j – расставленные ранги суждений экспертов; $r_{j\text{cp}}$ – средний ранг; n – число экспертов, выбрано 10; m – число анализируемых порядковых переменных.

В результате получено значение $W = 0,634$, позволяющее судить об удовлетворительной степени согласованности. Результаты экспертной оценки занесены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты аналитического обзора и экспертной оценки мобильных платформ по некоторым критериям

Платформа	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅	К ₆	К ₇	К ₈	К ₉	Сумма
Четырехколесная	6	3	3	6	6	6	6	6	4	46
Четырехколесная с поворотной осью	6	3	4	3	5	4	5	5	4	39
Шестиколесная	6	4	4	5	5	5	4	6	5	44
Шестиколесная с незав. подвеской	6	4	5	4	4	3	4	5	5	40
Гусеничная	5	5	5	6	6	6	6	4	6	49
Гусеничная с доп. гусеницами	5	6	6	5	4	4	3	3	6	42

Среди наземных платформ наибольшие рейтинги получили гусеничная платформа, 4- и 6-колесные платформы.

Организация и принцип работы информационно-измерительной подсистемы мобильной платформы

Согласно требованиям НИР измерительная подсистема мобильной платформы должна позволить решить следующие задачи:

- обеспечение возможности анализа сцен окружающего мира;
- определения параметров наблюдаемых объектов;
- обеспечение возможности избегания опасных режимов функционирования;
- дополнительно решаемые подзадачи.

Выбор датчиков для решения задач сведен в табл. 3.

Таблица 3

Выбор датчиков измерительной системы в соответствии с задачами мобильной платформы

Подзадача	Датчик
<i>Обеспечение возможности анализа сцен окружающего мира:</i>	
Анализ сцен окружающего мира	Бортовая видеокамера
<i>Определение параметров наблюдаемых объектов:</i>	
Положение объекта в дальней зоне	Лазерный дальномер
Положение объекта в ближней зоне	Сонар
Расстояние до объекта	Лазерный дальномер, сонар
Скорость и направление движения объекта	
Цвет объекта	Датчик цвета
Температура объекта	Пирометр
<i>Обеспечение возможности избегания опасных режимов функционирования:</i>	
Наезд на препятствие	Тактильный датчик
Низкий заряд батареи	Датчик разряда батареи
Неисправность исполнительных механизмов	Энкодер
	Датчик давления в шинах
Продолжительная работа в предельных режимах	Датчик тока
Недостаточная удаленность от «опасных» объектов	Под конкретную задачу свой датчик
<i>Попадание в непроходимую среду:</i>	
Водоём, глубокая лужа, болото	Датчик влаги
Яма, обрыв	ИК-датчик
Нахождение вблизи агрессивных факторов внешней среды:	
Высокая или низкая температура	Датчик температуры
Химически активная среда	Биосенсор
<i>Дополнительно решаемые подзадачи:</i>	
Отслеживание положения исполнительных механизмов	Энкодер
Определение наклона плоскости движения (без наклона, подъем, спуск)	Акселерометр
Определение сторон света	Компас
<i>Определение факторов внешней среды:</i>	
Время суток (день, ночь, сумерки)	Датчик света
Погодные условия (дождь, туман, снег)	Датчик дождя, тумана, снега
<i>Другие факторы:</i>	
Дым, пыль	Датчик дыма (пыли)
Шум	Микрофон

В качестве сенсоров выделим зависимые (показания сенсоров зависят от факторов окружающей среды) и независимые (показания сенсоров не зависят или не должны зависеть от факторов окружающей среды). С учетом этих особенностей на основании данных табл. 3 и существующих решений построения информационно-измерительных систем [4, 5] разработана структура измерительной подсистемы (рис. 1).

На рис. 1 выделено два уровня: I уровень – бортовое управление мобильного робота, II – дистанционное управление. Уровень дистанционного управления представлен автоматизированным рабочим местом (АРМ), с которого и поступают основные команды управления на интеллектуальную систему управления (ИСУ) мобильного робота, систему управления исполнительными механизмами (СУИМ) и систему управления сенсорами (СУС). Для ИСУ от АРМ задаются команды типа высокого уровня с указанием направления движения или целевого объекта, для СУИМ – например, команды ограничения скорости, а для СУС – команды на отключение или включение сенсоров. В ИСУ заложены алгоритмы поведения мобильного робота, например, алгоритм объезда препятствий, алгоритм «инстинкта самосохранения», самодиагностика. Сенсоры разделены на две большие группы: группа независимых сенсоров (НС) и группа зависимых сенсоров (ЗС).

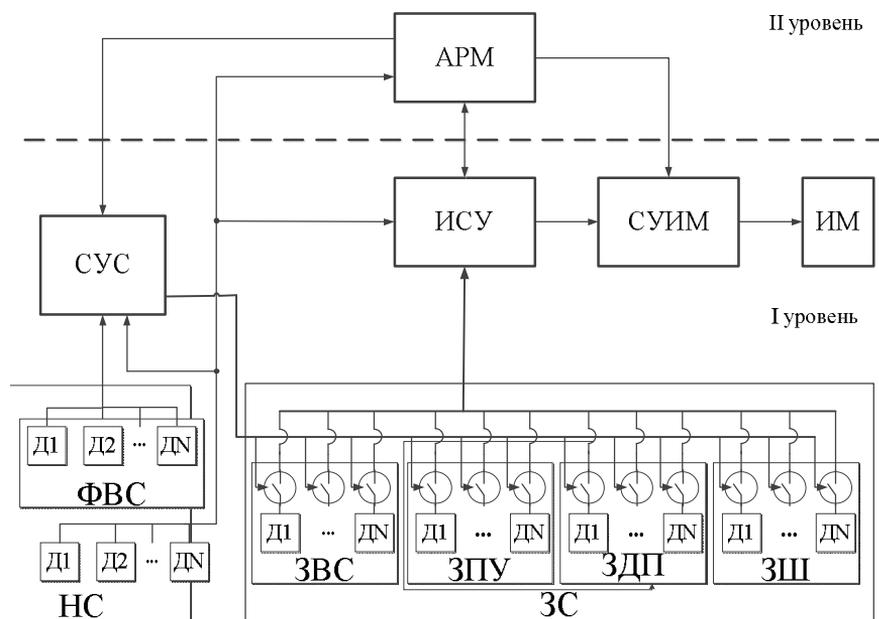


Рис. 1. Структура измерительной подсистемы мобильной платформы

Данные поступают с ЗС на ИСУ в основном для выполнения задач по определению параметров наблюдаемых объектов. Каждый сенсор относится к определенной группе влияющих факторов внешней среды: зависимые от времени суток (ЗВС), зависимые от погодных условий (ЗПУ), зависимые от дыма, пыли (ЗДП) или зависимые от шума (ЗШ). У каждого сенсора есть ключ, управляемый СУС, разрешающий (ключ замкнут) или запрещающий (ключ разомкнут) работу сенсора.

Данные, поступающие с НС, более важны, так как отвечают за работоспособность робота и поступают постоянно. Информация с НС передается на СУС, ИСУ и АРМ. В СУС поступает информация с НС, которые определяют факторы внешней среды (ФВС). Исходя из этих данных, СУС осуществляет управление включением-выключением сенсоров. СУС может получать данные и с других НС, например, таких как датчик разряда батареи, чтобы отключить, по возможности, энергоемкие сенсоры, или датчик температуры, чтобы отключить сенсоры, которые при данной температуре отображают недостоверную информацию. В ИСУ поступает информация с НС, необходимая для ориентации в пространстве (компас, акселерометр, энкодер и т.д.) и для определения работоспособности робота (датчик разряда батареи, энкодер, датчик температуры). В АРМ поступает информация с НС, зависящая от конкретных целей, обычно с небольшого числа сенсоров, обусловленного рядом факторов. Первый фактор – большое расстояние между мобильным роботом и диспетчерским пунктом управления, что снижает скорость приема поступающей информации на АРМ. Вытекающий из первого второй фактор – из-за низкой скорости передачи информации объем передаваемой информации снижается, следовательно, необходимо отправлять только важную и необходимую информацию.

Структурный синтез ИИУС мобильной платформы

Исходя из концепции типовой трехуровневой автоматизированной системы [1] и принципов проектирования мобильных лабораторий [6], получим обобщенную структурную схему ИИУС (рис. 2), которая включает в себя разработанную подсистему измерения и управления исполнительными механизмами. Первый – полевой подуровень включает в себя набор датчиков и исполнительных механизмов, второй – контроллерный подуровень включает в себя контроллер управления

исполнительными органами, контроллер сбора данных и главный (интеллектуальный) контроллер. Третий уровень – система связи ИИУС с оператором или сеть ИИУС.

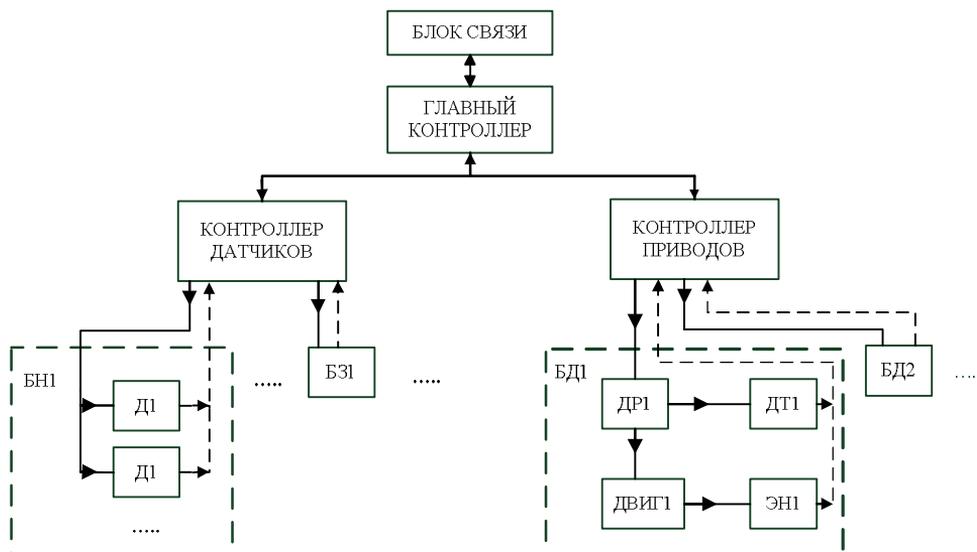


Рис. 2. Обобщенная структурная схема ИИУС: Д – датчик; БН – блок независимых датчиков; БЗ – блок зависимых датчиков; БД – блок двигателя; ДР – драйвер двигателя; ДВИГ – двигатель; ДТ – датчик тока; ЭН – энкодер

Элементы синтезируемой ИИУС будем выбирать согласно критериям табл. 1, для этого предварительно запишем символьные обозначения и непосредственные значения частных критериев (табл. 4).

Таблица 4

Обозначение частных критериев синтеза структуры ИИУС

Обозначение	Характеристика
1	2
K₁	
СК1	< 1 м/с
СК2	1–5 м/с
СК3	> 5 м/с
K₂	
ГР1	Свой вес
ГР2	< 25 %
ГР3	25–50 %
ГР4	50–100 %
ГР5	> 100 %

Продолжение табл. 4

1	2
К₃	
ПР1	Низкая (сухой грунт, асфальт)
1	2
ПР2	Средняя (пересеченная местность)
ПР3	Полная с возможностью преодоления водных препятствий
К₄	
УП1	Ручное
УП2	Полуавтоматическое
УП3	Автоматическое
К₅	
АВ1	< 1 ч
АВ2	1–3 ч
АВ3	3–10 ч
АВ4	10–24 ч
АВ5	> 24 ч
К₆	
ПК1	Модульная система
ПК2	Уникальная + модульная системы
ПК3	Уникальная система
К₇	
ГБ1	< 0,1 м ³
ГБ2	0,1–0,5 м ³
ГБ3	0,5–1 м ³
ГБ4	> 1 м ³
К₈	
МН1	Прямое движение
МН2	Поворот, разворот
МН3	Разворот на месте
К₉	
УС1	Не предусмотрено
УС2	Туман
УС3	Дождь
УС4	Снег
УС5	Ветер
УС6	Пыль
УС7	Шум
УС8	Дым
УС9	Удар
УС10	Изменение нагрузок
УС11	Сбой подсистем
УС12	Излучение
Дополнительные критерии	
Шумность – К₁₀	
ШМ1	<20 Дб
ШМ2	20–40 Дб

Окончание табл. 4

1	2
ШМ3	40–60 Дб
ШМ4	> 60 Дб
Исполнение – К₁₁	
IP XX	Индекс защиты IP
КИ X	Климатическое исполнение
1	2
КР X	Категория размещения изделий
Точность движений – К₁₂	
ТД1	<0,5 %
ТД2	0,5–1 %
ТД3	1–5 %
ТД4	> 5 %
Анализ сцен окружающего мира – К₁₃	
АС1	Без возможности анализа
АС2	Отображение состояния
АС3	Распознавание 2D-объектов
АС4	Распознавание 3D-объектов
Отслеживаемые параметры – К₁₄	
ОП1	Расстояние
ОП2	Цвет
ОП3	Освещенность
ОП4	Положение в пространстве
ОП5	Присутствие газа
ОП6	Шум/звук
ОП7	Дым/пыль/туман/дождь/снег
ОП8	Влажность
ОП9	Температура
ОП10	Давление
Избегание опасных режимов функционирования – К₁₅	
ИО1	Избегание внешних опасных ситуаций
ИО2	Избегание внутренних опасных режимов работы
Дальность связи – К₁₆	
ДС1	< 1 м
ДС2	1–10 м
ДС3	10–1000 м
ДС4	> 1000 м
Скорость передачи данных – К₁₇	
СС1	< 128 кб/с
СС2	128–1024 кб/с
СС3	> 1024 кб/с

Синтез ИИУС будем осуществлять по последовательному алгоритму выбора элементов ИИУС, построенной на основе обобщенной схемы.

Схема выбора представлена на рис. 3.

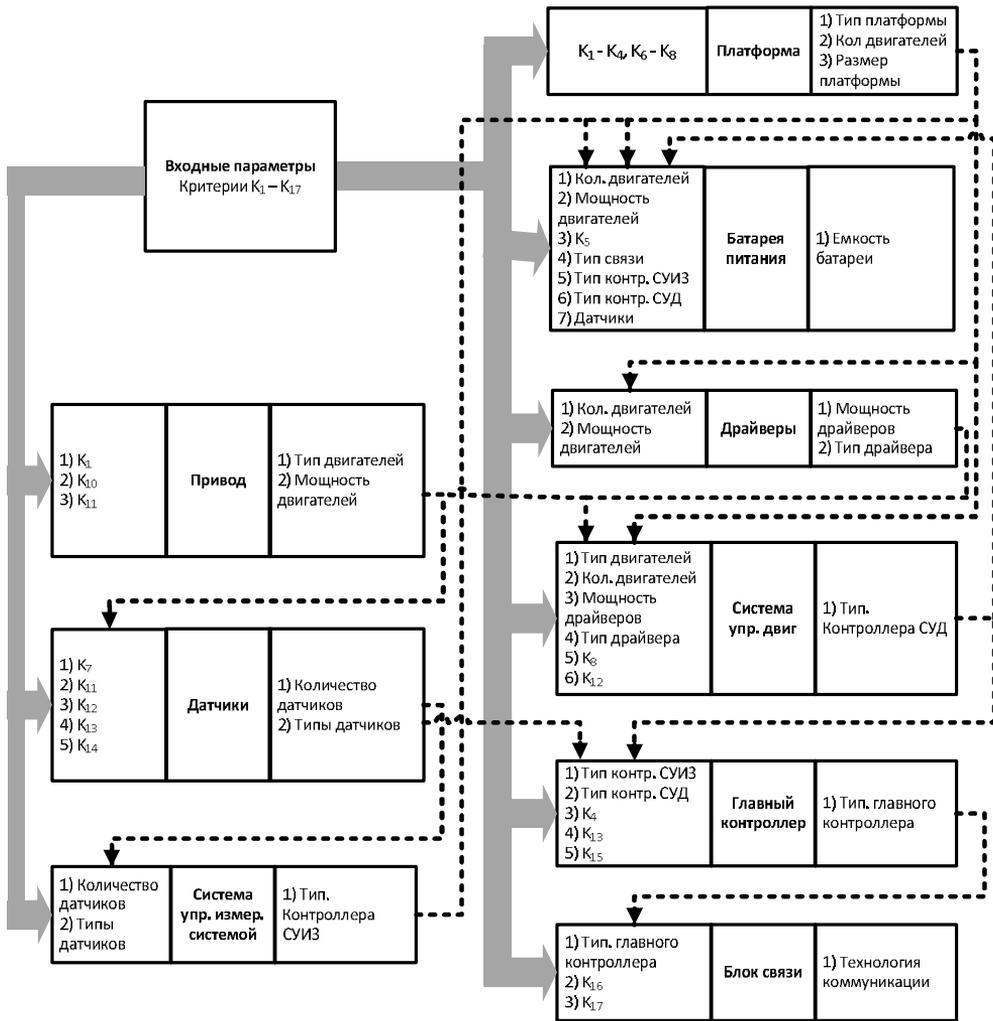


Рис. 3. Схема выбора элементов синтезируемой ИИУС

Заключение. Предложенный подход структурного синтеза представляет собой последовательный алгоритм выбора элементов обобщенной структуры ИИУС, построенной на основании начальных требований и целей технологического процесса.

На основании исходных данных объекта роботизации формируются входные критерии, которые поступают на вход блоков выбора элементов системы. На выходе блоков формируются параметры, которые в свою очередь определяют элемент ИИУС и также поступают на входы других блоков схемы. Полный набор элементов ИИУС производится путем последовательного вычисления выходных параметров.

Библиографический список

1. Друзьякин И.Г. Технические средства автоматизации. Конспект лекций: учебное пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – 251 с.
2. Мартыненко Ю.Г. Управление движением мобильных колесных роботов // *Фундаментальная и прикладная математика*. – 2005. Т.11. – Вып. 8. – С. 29–80.
3. Лагутин М.Б. Наглядная математическая статистика: учебное пособие. – М.: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2007. – 472 с.
4. Кычкин А.В. Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе беспроводных датчиков // *Автоматизация и современные технологии*. – 2009. – № 1. – С. 15–20.
5. Кычкин А.В. Интеллектуальная информационно-диагностическая система для исследований кровеносных сосудов // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. – 2013. – № 3. – С. 114–123.
6. Кычкин В.И., Кычкин А.В., Юшков В.С. Принципы проектирования мобильных лабораторий и вибродиагностика состояния автомобильных дорог // *Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности*. – 2010. – № 1. – С. 82–92.

Сведения об авторах

Кычкин Алексей Владимирович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com).

Артемов Сергей Андреевич (Пермь, Россия) – студент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: art-sa@bk.ru).

Власов Владимир Андреевич (Пермь, Россия) – студент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vip.v2a@gmail.com).

About the authors

Kichkin Aleksey Vladimirovich (Perm, Russian Federation) is PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation Microprocessors, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: aleksey.kychkin@gmail.com).

Artyemov Sergey Andreevich (Perm, Russian Federation) is a student at the Department of Automation Microprocessors, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: art-sa@bk.ru).

Vlasov Vladimir Andreevich (Perm, Russian Federation) is a student at the Department of Automation Microprocessors, Perm National Research Polytechnic University (614990, 29, Komsomolsky prospect, Perm, e-mail: vip.v2a@gmail.com).

Получено 05.09.2013