

УДК 551.46.077:529.584

**И.В. Кожемякин, К.В. Рождественский, В.А. Рыжов, А.В. Смольников****РАЗРАБОТКА АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ  
ГЛАЙДЕРОВ**

*Рассматриваются текущие состояния работ по созданию автономного необитаемого подводного аппарата – подводного глайдера, проводимых в СПбГМТУ. Приводится обзор «критических технологий», влияющих на эксплуатационные характеристики аппарата. Анализируется опыт научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по созданию подводного глайдера. С позиций опыта создания действующего образца подводного глайдера приводится описание направлений исследований и разработок, нацеленных на совершенствование внешнего облика подводного глайдера, его динамических характеристик, отдельных конструктивных элементов, включая материал модулей прочного корпуса, отработку механизма изменения плавучести переменного объема, эксплуатационных характеристик энергетического модуля, системы управления углом дифферента и углом крена, системы автоматического управления движением подводного глайдера.*

*Автономный необитаемый подводный аппарат; подводный глайдер; общее проектирование; гидродинамическое моделирование; технологии изготовления прочного корпуса; моделирование балансировочных режимов; синтез алгоритмов управления.*

**I.V. Kozhemyakin, K.V. Rozhdestvensky, V.A. Ryzhov, A.V. Smolnikov****DEVELOPMENT OF AUTONOMOUS UNMANNED UNDERWATER GLIDERS**

*This paper considers current state of research & development of an autonomous unmanned underwater vehicle – underwater glider at Saint-Petersburg State Marine Technical University. Presented is a review of critical technologies, which significantly influence operational characteristics of this apparatus. Also analyzed is world-wide experience in R&D of underwater gliders. From viewpoint of experience of creation of a working prototype of underwater glider there is presented a description of R&D directions, aiming at improving configuration of the glider, its dynamic characteristics, elements of its structure, including material of modules of the pressure hull, elaboration of variable volume buoyancy engine, operational characteristics of power module, systems for control of pitch and roll, systems for automatic motion control of underwater glider.*

*Autonomous unmanned underwater vehicle; underwater glider; general design; hydrodynamic modeling; pressure hull manufacturing technologies; modeling of stationary glides; synthesis of control algorithms.*

**Введение.** Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) представляют собой особый вид морской техники.

Первоначально они нашли применение в военной сфере, однако на сегодняшний день можно констатировать их использование для широкого круга научных, исследовательских и прикладных задач, связанных с освоением и мониторингом Мирового океана, поддержкой решения экологических задач, задач прогнозирования климата, контроля биоресурсной базы, разработкой подводных месторождений полезных ископаемых, сейсморазведкой, использованием в качестве средств контроля и оповещения в чрезвычайных ситуациях. Таким образом, АНПА являются морскими техническими средствами двойного назначения.

АНПА (в более общей трактовке – подводная робототехническая система) – это еще и современная технология, обеспечивающая завоевание лидирующего экономического положения в мире за счет повышения экономической эффективности подводных работ.

Безусловными преимуществами использования АНПА на больших глубинах являются: более высокая производительность, простота эксплуатации, точность управления, меньшая стоимость, безопасность для человека.

Развитие технологий подводной робототехники показывает, что в будущем автономные необитаемые подводные системы будут выполнять множество задач, связанных не только с экстремальными подводными операциями, где их применение оказывается единственно возможным в силу сложных физических условий или имеющейся угрозы для жизни человека, но и широкий спектр задач двойного назначения.

При этом функциональность АНПА расширяется не только за счет новых технологических возможностей и конструктивных решений, но и за счет реализации различных алгоритмов группового использования подводных технических систем. Эффективность АНПА возрастает при использовании их «группировок» в комплексе с объектами-носителями: кораблями, подводными лодками и аппаратами. Это означает, что каждый подводный робот способен выполнять относительно простые операции, но в комплексе с другими подводными аппаратами – решать весьма сложные задачи. В результате группировка из нескольких малых подводных аппаратов способна более эффективно выполнять задачи, решаемые в настоящее время традиционными подводными техническими системами.

В состав АНПА входит специальная группа аппаратов, использующих для своего перемещения принцип изменения остаточной плавучести – подводных глайдеров. В последнее время наблюдается повышенный интерес к разработкам именно таких подводных технических систем, обладающих набором неоспоримых преимуществ – сверхбольшой автономностью, сверхбольшой дальностью хода, «удобными» при эксплуатации массогабаритными характеристиками, сверхмалой шумностью, относительно низкой стоимостью производства и эксплуатации.

Подводные глайдеры являются дальнейшим эволюционным развитием дрейфующих буев-профилографов, однако при этом наделены новыми качествами: мобильностью (способностью «покрывать» значительные по площадям акватории); эффективным использованием в составе роботизированных комплексов различного назначения; эффективными процедурами сбора информации и ее передачи в центр обработки в масштабе времени близком к реальному; оперативной корректировкой программного задания миссии, определяемой возможностями современных телекоммуникационных технологий.

Глубины погружения современных подводных глайдеров практически неограничены (до 6000 м), что говорит о возможности использования их для различных прикладных задач – исследования донных районов океана, континентальных шельфов, прибрежных акваторий и мелководных зон.

Таким образом, подводный глайдер можно считать универсальным инструментом сбора разнородной информации, доставки ее конечному пользователю, а также потенциально эффективным элементом информационно-коммуникационной подводной сети. Использование подводных глайдеров в составе комплекса морских технических объектов открывает широкие возможности для построения распределенных информационно-измерительных сетей двойного назначения.

На сегодня автономные необитаемые подводные аппараты (в частности подводные глайдеры) рассматриваются военными специалистами в качестве одного из важнейших перспективных средств повышения боевой эффективности военно-морских сил.

Необходимо подчеркнуть, что подводный глайдер может быть универсальным инструментом для любых акваторий Мирового океана, в частности для Арктической зоны, где он может использоваться в «подледном» режиме на «сверхбольших» временных интервалах автономной эксплуатации.

Можно констатировать, что подводные глайдеры являются на сегодняшний день одним из перспективных направлений развития робототехники. Как системная область, данное направление неразрывно связано с развитием микроэлектронных технологий, информационных технологий, технологий связи, измерительных технологий, бионических технологий, адаптивных и интеллектуальных систем управления, новых конструкционных технологий, нанотехнологий, энергетических технологий (использующих, в частности, возобновляемые ресурсы).

**1. Историческая справка.** Впервые концепция подводного глайдера была практически продемонстрирована на буксировщике водолаза Concept Whisper, разработанного компанией General Dynamics в конце 60-х гг. В 70-х гг. в (Naval Electronics Lab), США был проведен всесторонний анализ потенциальных возможностей применения подводных глайдеров для ВМС США. В 90-х гг. после семилетних исследований, профинансированных Офисом Военно-Морских Исследований Департамента ВМС Министерства обороны США, было создано три подводных глайдера: Sea Glider, Spray Glider и Slocum [1], [2], [3].

В настоящее время работы по созданию подводных глайдеров активно проводятся в США, Канаде, Франции, Японии, Китае [4].

К функционально завершенным проектам подводных глайдеров можно отнести американские проекты ANT Littoral Glider, Liberdade/XRay, к активно разрабатываемые в настоящее время – американские проекты Liberdade/ZRay, Tethys, французские проекты SeaExplorer и Sterne, японский проект Tsukuyomi, китайские проекты Sea-Wing и PETREL.

Перечисленные глайдеры можно отнести к двум архитектурно-конструктивным группам: глайдерам торпедной гидродинамической схемы и глайдерам типа «летающее крыло». По движительным системам глайдеры можно подразделить на пассивные (использующие для движения только механизм управления плавучестью) и гибридные (использующие для движения помимо механизма управления плавучестью дополнительные движительные системы – гребные винты, водометы и пр.).

Длина и водоизмещение торпедных глайдеров лежат в диапазонах: 1,50–2,90 м и 50–150 кг соответственно. Для глайдеров типа «летающее крыло»: длина – около 1,70 м, размах – около 6,0 м, вес на воздухе – около 850 кг. Рабочие скорости торпедных глайдеров 0,2–0,5 м/с, автономность – до полугода.

**2. «Критические технические решения».** К «критическим техническим решениям», определяющим эксплуатационные характеристики и эффективность функционирования подводного глайдера, следует отнести: механизм изменения плавучести, систему точной дифферентовки и изменения угла крена аппарата, систему энергообеспечения, систему связи и навигации, систему автоматического управления подводным глайдером [5–9].

**2.1. Механизм изменения плавучести.** Важнейшей системой подводных глайдеров является механизм изменения плавучести (МИП). Назначение МИП состоит в изменении веса или объема аппарата, что позволяет управлять плавучестью глайдера и, в зависимости от знака плавучести, обеспечивать его погружение или всплытие.

В настоящее время используется (исследуется) несколько различных типов МИП, которые применяются на подводных глайдерах и отличаются принципом действия: электрические, термические, химические.

Электрический МИП имеет достаточно много вариантов технической реализации, в основе которых лежат насос или поршень с линейным приводом для перекачки рабочей жидкости между внутренней и внешней (по отношению к прочному корпусу) эластичными емкостями. В результате перекачки рабочей жидкости

между емкостями изменяется объем аппарата, вследствие чего возникает сила плавучести того или иного знака. Энергопотребление подобного электро-механического МИП в связи с достаточно невысокой эффективностью может составлять до 60–70 % от общей энергии, потребляемой всеми системами и устройствами аппарата.

В термическом варианте МИП используется принцип изменения агрегатного состояния воскообразного рабочего тела. Термический механизм включает трубу-теплообменник, аккумулятор, клапанный распределитель и две емкости – внутреннюю и внешнюю (по отношению к прочному корпусу). Теплообменник представляет собой внешние трубы (расположенные вдоль всего корпуса аппарата и имеющие большую площадь для обеспечения быстрого теплообмена) заполненные рабочим телом, изменяющим фазовое состояние при температуре 10 °С. В теплых приповерхностных слоях воды рабочее тело нагревается, плавится и расширяется. Это расширение преобразуется в сжатие жидкости в аккумуляторе энергии. Погружение глайдера инициируется перекачкой жидкости из внешней емкости во внутренний резервуар. При температурах ниже точки затвердевания сжатие рабочего тела переводит жидкость из внутреннего резервуара обратно в теплообменник. Для всплытия, энергия, накопившаяся в аккумуляторе, производит работу пропорциональную произведению давления на объем вытеснения и цикл повторяется. На сегодня основным недостатком термического глайдера является необходимость в перепаде температур не менее 10° С. Это обстоятельство ограничивает применение термических глайдеров на 65 % Мирового океана. Термоглайдер имеет весьма низкий к.п.д. – в силу малых разностей температур он составляет около 3 %. Однако столь низкий к.п.д. не критичен, так как запас энергии океана практически неограничен. В связи с этим термический глайдер имеет дальность хода существенно превосходящую дальность электрического глайдера.

В основе химического механизма изменения плавучести лежит явление резкого увеличения объема водорода, возникающее в результате реакции гидрида лития с морской водой. При этом морская вода вытесняется из реактивной камеры, создавая избыточную плавучесть. Полученный при этом водород может использоваться для создания электроэнергии в топливных элементах для питания системы управления и навигационно-измерительных приборов.

**2.2. Система точной дифферентовки и изменения угла крена.** Для точного управления глайдером по углу дифферента и крена могут использоваться различные методы: управление с помощью отклоняемых гидродинамических поверхностей (рулей) и/или управление с помощью изменения положения центра тяжести аппарата в продольном и поперечном направлениях. Эффективность указанных методов определяется гидродинамической компоновкой глайдера и требует тонкого исследования для каждого конкретного случая. На практике для изменения положения центра тяжести аппарата используется механизм, перемещающий энергетический модуль (блок батарей) в продольном или радиально-поперечном направлениях.

**2.3. Система энергообеспечения.** Для обеспечения сверхбольшой автономности и дальности хода глайдер должен располагать значительными энергоресурсами. Максимальная энергоемкость батарейных модулей, эксплуатируемых в настоящее время глайдеров весом водоизмещением до 150 кг, составляет порядка 68 МДж (ANT Littoral Glider) [10]. На практике используются батарейные блоки из неперезаряжаемых или аккумуляторных батарей. С целью достижения минимальных габаритов аппарата требуется минимизация размеров энергетического модуля, что подразумевает использование последних достижений в области разработки мобильных источников энергии.

Как было указано выше могут использоваться и альтернативные источники энергии – химические реакторы или термо-электрические преобразователи.

**2.4. Система автоматического управления.** Анализ исследований по разработке САУ глайдеров показал, что существенным резервом улучшения эксплуатационных характеристик (увеличения автономности и дальности хода, преодоления внешних возмущений и пр.) является совершенствование их систем управления движением.

Разрабатываемые управляющие программы предназначены для обеспечения эффективного перемещения в рамках заданных миссий не только единичного (изолированного) глайдера, но и группировки глайдеров, решающих единую практическую задачу.

Данные алгоритмы управления базируются на данных полученных в результате моделирования динамики глайдера на различных режимах движения (включая специальные маневры).

**3. Текущее состояние работ.** В настоящее время в СПбГМТУ проводятся исследования в обеспечении создания информационно-измерительной системы, использующей в своем составе семейство автономных обитаемых подводных аппаратов – глайдеров [4]. Данные исследования носят комплексный характер и преследуют множество частных целей – отыскание оптимальных решений входящих в проблему мультифизических задач.

К НИР и ОКР, проводимым СПбГМТУ, также привлечены Самарский государственный технический университет (СГТУ), ООО «Палс», ЗАО НПФ «Океанос», Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе и другие организации.

Указанные работы ведутся для трех типов аппаратов: глайдера торпедной формы, глайдера типа «летающее крыло» и приповерхностного волнового глайдера.

В 2012 г. был разработан первый опытный действующий образец подводного глайдера торпедной формы (рис. 1), испытания которого для тестовых режимов движения прошли успешно.

Дальнейшие исследования были нацелены на улучшение гидродинамических качеств аппарата, его управляемости, совершенствование системы автоматического управления, а также на проработку возможностей применения различных перспективных технологий.

При усовершенствовании глайдера главное внимание уделяется исследованиям и проработке «критических технических решений», обеспечивающих достижение требуемых проектных параметров аппарата.

Перечислим задачи, решение которых выполняется в рамках реализуемого в СПбГМТУ проекта по разработке семейства подводных глайдеров.

*Оптимизация внешнего облика (гидродинамической формы) подводного глайдера и моделирование его динамики.* Для этих целей используются методы вычислительной гидродинамики. В качестве инструмента моделирования ГДХ глайдера используются утилиты, входящие в открытый пакет численного моделирования механики сплошных сред OpenFOAM. Пакет имеет большие возможности по выбору алгоритмов решения уравнений Навье–Стокса для несжимаемой жидкости (PISO, SIMPLE, PIMPLE), большой набор интерполяционных схем и схем интегрирования по времени. В решателях, входящих в состав OpenFOAM, применяются различные методы моделирования турбулентности URANS; DES, LES, DNS. В составе имеются практически все широко используемые на данный момент модели турбулентности; широкий набор методов деформации сеток, которые позволяют моделировать нестационарные движения объекта при сохранении качества сетки. Так как модели, использующиеся в численной гидродинамике, к сожалению, не являются универсальными, то подбор конкретных подходов к моделированию ГДХ проводится на

этапе валидации и сравнения с имеющимися экспериментальными данными. В ходе работ выполнена валидация расчетной схемы путем сравнения с известными данными по глайдерам Slocum и Spray. На базе выбранной расчетной схемы (в рамках URANS и LES) проведены систематические расчеты ГДХ проектируемого глайдера с целью оптимизации его гидродинамической формы.



Рис. 1. Опытный образец подводного глайдера торпедной формы «МАКО»

*Оптимизация внешнего облика (гидродинамической формы) подводного глайдера и моделирование его динамики.* Для этих целей используются методы вычислительной гидродинамики. В качестве инструмента моделирования ГДХ глайдера используются утилиты, входящие в открытый пакет численного моделирования механики сплошных сред OpenFOAM. Пакет имеет большие возможности по выбору алгоритмов решения уравнений Навье–Стокса для несжимаемой жидкости (PISO, SIMPLE, PIMPLE), большой набор интерполяционных схем и схем интегрирования по времени. В решателях, входящих в состав OpenFOAM, применяются различные методы моделирования турбулентности URANS; DES, LES, DNS. В составе имеются практически все широко используемые на данный момент модели турбулентности; широкий набор методов деформации сеток, которые позволяют моделировать нестационарные движения объекта при сохранении качества сетки. Так как модели, используемые в численной гидродинамике, к сожалению, не являются универсальными, то подбор конкретных подходов к моделированию ГДХ проводится на этапе валидации и сравнения с имеющимися экспериментальными данными. В ходе работ выполнена валидация расчетной схемы путем сравнения с известными данными по глайдерам Slocum и Spray. На базе выбранной расчетной схемы (в рамках URANS и LES) проведены систематические расчеты ГДХ проектируемого глайдера с целью оптимизации его гидродинамической формы.

Для проработки динамики глайдера проводится исследование его установившегося движения в продольно-вертикальной плоскости с целью определения кинематических параметров при заданной избыточной плавучести и дифференцирующем моменте; проводится определение балансируемых режимов, обеспечивающих приемлемое сочетание скоростей продольного и вертикального перемещения глайдера при допустимых углах дифферента; исследуются ГДХ гидродинамических средств управления движением (рулей), а также модели различных гидрологических возмущений.

*Проработка модульной архитектуры подводного глайдера.* Ввиду необходимости выполнения требования универсальности глайдера, как морского транспортного средства, обеспечивающего перемещения полезной нагрузки различного назначения (измерительной аппаратуры и пр.), при проектировании была учтена воз-

возможность «горячей» замены модуля прочного корпуса с полезной нагрузкой с учетом возможного изменения его объемов. Проектирование глайдера, его конструкции, систем и механизмов осуществляется с использованием САПР Solid Works.

*Исследования конструкции и материалов модулей прочного корпуса* для эксплуатационных рабочих глубин. Исследовались различные конструкционные материалы для разработки модулей прочного корпуса глайдера. При этом рассматривались варианты функционирования глайдера на рабочих глубинах до 50 м и до 1000 м. В качестве материалов прочного корпуса, предназначенного для эксплуатации на глубинах до 1000 м исследовались вакуумная керамика, титановые и алюминиевые сплавы. Исследования и проектирование проводилось для прочного модуля глайдера, представляющего цилиндрическую оболочку с ребрами жесткости (шпангоутами) и полусферическими элементами на торцах. Расчеты составной оболочки осуществлялись с использованием метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS. На основании систематических расчетов были определены конструкции, необходимые габаритно-весовые характеристики, материал корпуса для прочных модулей подводного глайдера, отвечающие требуемым эксплуатационным параметрам.

Разработка механизма изменения плавучести для различных коридоров глубин.

Для обеспечения движения глайдера разрабатывается механизм изменения плавучести (МИП) – балластная система переменного объема, которая представляет собой устройство, содержащее поршень с линейным приводом для перекачки рабочей жидкости между внутренней и внешней (по отношению к прочному корпусу) эластичными емкостями. Для опытного образца глайдера используется архитектурно-конструктивное решение с носовым расположением МИП.

При разработке МИП критической является задача снижения его энергопотребления, которая напрямую связана с повышением автономности подводного глайдера. Поэтому при проектировании данной системы уделяется особое внимание энергетической эффективности и быстродействию МИП на предельных рабочих глубинах. Результаты моделирования и конструкторская проработка МИП во многом определяют степень «совершенства» подводного глайдера.

Разработка эффективного энергетического модуля, поддерживающего автономность глайдера до 3–4 месяцев.

Энергетический модуль глайдера, размещенный в одном из модулей прочного корпуса, имеет двойное назначение. Помимо основной функции, он является перемещаемым балластом, обеспечивающим изменение положения центра тяжести аппарата для точного изменения углов дифферента и крена.

Безусловно, разработка глайдера ведется с учетом изыскания путей минимизации энергопотребления всех систем, узлов и механизмов, но несмотря на это требуются существенные резервы энергии для обеспечения «жизнедеятельности» аппарата. Энергетический модуль опытного образца глайдера представляет собой сборку непerezаряжаемых литиевых батарей, обеспечивающих требуемую проектную автономность.

*Разработка эффективной системы точного управления дифферентом и углом крена.*

Наряду с тем, что МИП устанавливает угол траектории планирования, механизм передвижения сборки батарей в осевом направлении обеспечивает точную подстройку угла дифферента. Необходимость точной регулировки дифферента требуется для обеспечения возможности управления аппаратом при внешних возмущениях, а также выполнения специальных маневров продиктованных заданной миссией.

Изменение угла крена глайдера может быть выполнено либо поворотом сборки батарей вокруг оси глайдера со смещением центра тяжести на левый-правый борт, либо поворотом руля с помощью сервопривода.

Управления углом дифферента и крена требует не только прецизионной точности механизмов, но и «тонкой настройки» управляющих программ.

*Разработка системы автоматического управления движением подводного глайдера* для различных миссий (режимов перемещения).

Одним из важнейших элементов роботизированного комплекса является система автоматического управления различными режимами движения в рамках обрабатываемых миссий подводного глайдера.

Проводимые в СПбГМТУ исследования были связаны с решением задачи синтеза цифровой системы гарантированной точности для управления движением глайдера в установившемся режиме планирования. Разрабатывалась методика построения классов стохастических возмущений, действующих на глайдер в установившемся режиме, был сформулирован алгоритм стабилизации цифровой системы управления глайдером, исследовано влияние периода квантования на качество функционирования системы, разработано соответствующее программное обеспечение.

**Заключение.** В статье рассмотрено текущее состояние работ по созданию автономного необитаемого подводного аппарата – подводного глайдера, проводимых в СПбГМТУ. Дан краткий обзор научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполняемых в целях совершенствования эксплуатационных характеристик подводного глайдера торпедной формы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Eriksen C.C., Osse T.J., Light R.D., Wen T., Lehman T.W., Sabin P.L., Ballard J.W. and Chiodi A.M. Seaglider: A long-range autonomous underwater vehicle for oceanographic research // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2001. – № 26 (4). – P. 424-436.
2. Sherman J., Davis R.E., Owens W.B. and Valdes J. The autonomous underwater glider "Spray" // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2001. – № 26 (4). – P.437-446.
3. Webb D.C. and Simonetti P.J. The SLOCUM AUV: An environmentally propelled underwater glider // In Proc. 11th Int. Symposium on Unmanned Untethered Submersible Tech. – Durham, NH. – 1999. – P. 75-85.
4. Технический отчет по НИР С-004 «Исследования в обеспечении создания информационно-измерительной системы на основе необитаемых подводных аппаратов типа «глайдер», I этап. – НИЧ СПбГМТУ. – СПб., 2012. – 340 с.
5. Кожемякин И.В., Потехин Ю.П., Рождественский К.В., Рыжов В.А., Смольников А.В., Ткаченко И.В., Фрумен А.И. Подводные глайдеры: эффект «рыбьего пузыря» // Морские интеллектуальные технологии. – 2012. – № 4 (18). – С. 3-9.
6. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А., Смольников А.В., Татаренко Е.И. Подводные глайдеры: вчера, сегодня, завтра. Ч. 1 // Морской вестник. – 2013. – № 1.
7. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А., Смольников А.В., Татаренко Е.И. Подводные глайдеры: вчера, сегодня, завтра. Ч. 2 // Морской вестник. – 2013. – № 2.
8. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А., Смольников А.В., Татаренко Е.И. Механизмы изменения плавучести, дифферента и крена подводных глайдеров // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – СПб.: Изд-во «Морвест», 2013.
9. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А., Смольников А.В., Татаренко Е.И. Динамика и планирование маршрутов подводных глайдеров // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – СПб.: Изд-во «Морвест», 2013.
10. Imlach J., Mahr R. Modification of a Military Grade Glider for Coastal Scientific Applications // Proc. of «Ocean-2012». – Hampton Roads, VA. – Oct. 2012.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Х. Пшихопов.

**Кожемякин Игорь Владиленович** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный морской технический университет; e-mail: 1861vp@mail.ru; 190008, г. Санкт-Петербург, ул. Лощманская, 3; тел.: 88127146822; начальник Управления оборонных исследований и разработок.



**Рождественский Кирилл Всеволодович** – e-mail: kvrxmas@yahoo.com; тел.: 88127142923; д.т.н.; профессор, проректор по МСНиО.

**Рыжов Владимир Александрович** – e-mail: ryzhov@smtu.ru; тел.: 88124940936; кафедра прикладной математики и математического моделирования; д.т.н.; профессор.

**Смольников Александр Васильевич** – e-mail: smol@smtu.ru; тел.: 88127141321; к.т.н.; проректор по УР.

**Kozhemyakin Igor Vladilenovich** – Saint-Petersburg State Marine Technical University; e-mail: 1861vp@mail.ru; 3, Lotsmanskaya street, St. Petersburg, 190008, Russia; phone: +78127146822; head of Division Defense Research and Development.

**Rozhdestvensky Kirill Vsevolodovich** – e-mail: kvrxmas@yahoo.com; phone: +78127142923; dr. of eng. sc.; professor; Vice-Rector for International Science & Education.

**Ryzhov Vladimir Alexandrovich** – e-mail: ryzhov@smtu.ru; phone: +78124940936; the department of applied mathematics and mathematical modeling; dr. of eng. sc.; professor.

**Smolnikov Alexander Vasilevich** – e-mail: smol@smtu.ru; phone: +78127141321; cand. of eng. sc.; Vice-Rector for Academic Affairs.

УДК 551.46.077:629.584

**А.И. Боровик, Л.А. Наумов**

### **КОМПОНЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ПРОГРАММНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

*Рассматриваются вопросы создания системы управления автономным мобильным роботом. Перечисляются требования, которым должна соответствовать среда разработки подобных систем. Предлагается новое средство разработки систем управления – компонентно-ориентированная программная платформа RCE. Описывается архитектура данной платформы, используемые ею парадигмы программирования, язык и технологии организации транспорта данных. Описываются утилиты, входящие в состав платформы. Приводится сравнение архитектуры RCE с архитектурами других популярных программных платформ.*

*Мобильный робот; автономный робот; система управления; программная платформа; RCE.*

**A.I. Borovik, L.A. Naumov**

### **COMPONENT-ORIENTED PROGRAM FRAMEWORK FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS**

*This article focuses on development of the control system software for autonomous mobile robots. It describes requirements to the development environment for such systems. It proposes new component-oriented framework for control system development – RCE and describes its programming language, paradigm and communication techniques. It reviews utilities, included in the RCE framework. Article concludes with a comparison of RCE architecture and architectures of other popular robotics frameworks.*

*Autonomous robot; mobile robot; control system; robotics framework; RCE.*

**Введение.** Одним из важнейших компонентов мобильного робота является система управления (СУ) – совокупность программных средств, обеспечивающих функционирование робота и выполнение им поставленных задач.