

Ченцов Александр Георгиевич – Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, Уральский федеральный университет; e-mail: chentsov@imm.uran.ru; 620219, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской 16; тел.: +73433753457; член-корреспондент РАН; г.н.с.

Ченцов Павел Александрович – e-mail: chentsov.p@mail.ru; тел.: +73433628162; с.н.с.

Chentsov Alexander Georgievich – Institute of mathematics and mechanics UrB RAS, Ural Federal University; e-mail: chentsov@imm.uran.ru; 620219, Yekaterinburg, 16 S. Kovalevstoy; phone: +73433753457; Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher.

Chentsov Pavel Alexandrovich – e-mail: chentsov.p@mail.ru; phone: +73433628162; senior researcher.

УДК 007.52:622.279.04:622.276.04

DOI 10.23683/2311-3103-2017-9-181-192

В.А. Серов, И.В. Ковшов, С.А. Устинов

ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ШАГАЮЩИХ ПЛАТФОРМ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДВОДНЫХ (ПОДЛЕДНЫХ) МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Освоение подводных (подледных) месторождений полезных ископаемых является важнейшим направлением развития топливно-энергетического комплекса. Значительные шельфовые ресурсы позволяют организовать новые крупные нефтегазодобывающие центры, однако технологические системы обустройства и эксплуатации месторождений для акваторий со сложной ледовой обстановкой в настоящее время практически отсутствуют. Рассматриваются вопросы применения технологических роботизированных платформ с шагающими движителями при освоении подводных месторождений полезных ископаемых Арктического континентального шельфа. Предложена базовая конструкция подводной роботизированной платформы с энергетически-эффективными ортогональными шагающими движителями, которые характеризуются высокими показателями проходимости и способны работать на грунтах с низкой несущей способностью. Результаты исследований проведенных на прототипах платформ с шагающими движителями подтвердили высокую проходимость таких шагающих аппаратов на слабонесущих грунтах. При использовании подводных роботизированных шагающих платформ на подводном месторождении могут быть решены следующие задачи: разведка местности, проведение инженерных изысканий, бурение скважин различного назначения, мониторинг и обслуживание подводного оборудования, прокладка кабелей, трубопроводов и райзеров по месторождению (в том числе с выполнением траншеи), подключение и отключение соединителей электрических и гидравлических коммуникаций, взятие проб, мониторинг скважин, установка донного основания и устьевой обвязки скважины, борьба с выбросами и утечками газа, нефти и технологических жидкостей, транспортировка расходных материалов и комплектующих. Также практический интерес представляет использование групп шагающих платформ для транспортировки и позиционирования крупногабаритных грузов, а также возможность проведения пенетрационных измерений на маршруте патрулирования с использованием шагающих движителей платформы. На основании сформулированных задач предложены классификация подводных роботизированных шагающих платформ, основные технические требования к ним. Также предложена модель применения роботизированных шагающих платформ при освоении подводных месторождений нефти и природного газа на Арктическом шельфе, предусматривающая применение подводной буровой установки на базе двух шагающих платформ. Преимущества предлагаемой технологии заключаются в ускорении проектирования и обустройства подводных месторождений, снижение стоимости бурения скважин различного назначения, повышение мобильности оборудования на месторождении и в пределах шельфа.

Подводная роботизированная шагающая платформа, подводное месторождение; робототехнический комплекс; мобильный робот; подводно-технические работы; шагающий движитель; бурение.

V.A. Serov, I.V. Kovshov, S.A. Ustinov

TASKS OF THE TECHNOLOGICAL ROBOTIC WALKING PLATFORMS FOR DEVELOPMENT OF UNDERWATER (UNDER ICE) MINERAL DEPOSITS

The development of underwater (under ice) mineral deposits is one of the main ways of fuel and energy complex development. Significant resources of the shelves allow creating large oil and gas production centers. But the technological systems for arrangement and exploitation of deposits for water area with heavy ice conditions are practically absent nowadays. The Problems of using technological robotic platforms with walking drives for development of underwater mineral deposits of Arctic continental shelf are considered. The basic construction of underwater robotic platform with energy-efficient orthogonal walking drives is proposed. Orthogonal walking drives are characterized by high cross-country capability and can be used on the low bearing capacity ground. The results of experiments on the prototypes of platforms with walking drives proved these features. The following problems can be solved with the usage of such platforms: deposit exploration, engineering survey, drilling of the wells for various purposes, supervising and maintenance of underwater equipment, laying of cables, pipelines and risers on the deposit (including trench digging), connecting and disconnecting of electrical and hydraulic communications, taking samples, supervising of wells, installing bottom base and wellhead, control of the emission and leaks of gas, oil and the process fluids, transportation of consumables and spare parts. There are also a few more practical applications for a group of walking platforms such as transportation and positioning of large-sized cargo with group of platforms and potential of carrying out penetration measurements on the route using of platform's walking legs. Classification of underwater robotic platforms and main technical requirements based on considered problems are proposed. The models of usage of robotic walking platform for the development of underwater oil and natural gas deposits of the Arctic shelf are offered. The models consider the underwater drilling rig that consists of pair of walking platforms). The advantages of the offered technology are reduction of time of design and arrangement of underwater mineral deposits, reduction of cost of drilling wells of various purposes, increasing mobility of the equipment within the range of facility on the shelf.

Underwater robotics; robotic walking platform; underwater mineral deposit; robotics complex; mobile robot; walking drive; drilling.

Введение. Освоение подводных (подледных) месторождений полезных ископаемых является важнейшим направлением развития топливно-энергетического комплекса и имеет стратегическое значение. Перспективные районы Арктического континентального шельфа, содержащие до 25 % мировых запасов углеводородов, характеризуются воздействием сложных внешних воздействующих факторов, инженерно-геологическими и экологическими проблемами, связанными с необходимостью проведения работ под водой [1].

Шельфовые ресурсы позволяют организовать новые крупные нефтегазодобывающие центры, однако технологические системы для обустройства и эксплуатации таких месторождений полезных ископаемых акваторий со сложной ледовой обстановкой в настоящее время практически отсутствуют. Существует проработка только отдельных технологий: подводное бурение с использованием самоподъемных опорных оснований, бурение с самоходных судов [2].

Обоснование применения подводных шагающих платформ. Количество точек бурения при обустройстве подводного месторождения углеводородов (с учетом средних параметров систем размещения скважин месторождений Арктического континентального шельфа) может достигать нескольких сотен.

Тяжелые самоподъемные основания, рациональные при бурении добычных нефтегазовых скважин, применять для бурения разведочных скважин в таких условиях экономически нецелесообразно.

Легкие самоподъемные основания характеризуются недостаточной безопасностью обслуживающего персонала (отсутствует вертолетная площадка), а также низким коэффициентом использования, значение которого зависит от погодных и гидродинамических условий окружающей среды.

Качка и дрейф создают при бурении ряд проблем при бурении с самоходного судна. По причине наличия вертикальных перемещений и горизонтальных перемещений затруднена поддержка рационального режима бурения и обеспечение надежной работы бурового оборудования, что приводит к значительному снижению производительности и повышению стоимости бурения. Кроме того, при проведении инженерных изысканий вдавливанием в грунт специальных зондов и снарядов (статическое зондирование и пенетрационный каротаж) качественные результаты исследований обеспечиваются только при неизменном положении вдавливающих механизмов. Достичь такого положения при размещении механизмов на качающемся и дрейфующем судне практически невозможно [2].

Практика подводно-технических работ ставит также ряд технологических задач, связанных с проведением грунтовых операций, таких как строительство подводных объектов, прокладка коммуникаций (трубопроводов, электрических и оптических кабелей), ликвидация последствий аварийных ситуаций и др.

Такие работы целесообразно выполнять с помощью передвигающихся по дну автономных аппаратов, способных развивать значительное тяговое усилие. Проектирование и исследование таких дистанционно управляемых и автономных аппаратов в настоящее время ведется во многих развитых странах мира. В ряду таких разработок следует отметить подводные бульдозеры Hitachi, Komatsu, Sumimoto, экскаваторы Menzi Muck, кабелеукладчики Tycso Resolute, добычные агрегаты De Beers Marine, Nautilus Minerals и др. [3–7].

Однако условия морского дна, характеризующиеся сложным рельефом и низкой несущей способностью грунтов, зачастую делают малопригодными традиционные колесные и гусеничные движители.

Колесные и гусеничные аппараты могут работать только на плотных грунтах с небольшими уклонами дна с существенным ограничением возможностей по грунтовой проходимости и маневренности. На слабых грунтах возможна посадка таких аппаратов днищем на грунт с потерей сцепного веса. В случае применения гусеничных движителей возможно попадание фрагментов грунта в движитель, приводящее к заклиниванию или к потере гусеницы.

Более целесообразным для аппаратов, выполняющих технологические задачи на поверхности дна, представляется использование энергетически эффективных шагающих движителей, обладающих высокими показателями проходимости и способных работать на грунтах с низкой несущей способностью [8–14].

Результаты исследования на макетах и прототипах платформ с шагающими движителями (рис. 1) подтвердили высокую проходимость шагающих аппаратов на слабонесущих грунтах. В частности, осуществлялось успешное передвижение по естественному водоёму с илистым дном, преодолевался подъём в 30° и локальные препятствия [15–18].

На базе роботизированных шагающих платформ (РШП) также возможно создание транспортно-технологического комплекса, состоящей из группы роботов для перемещения крупногабаритного объекта (в том числе подводной буровой установки) по грунтам со слабой несущей способностью.



Рис. 1. Прототипы подводной роботизированной шагающей платформы

При этом совокупность приводов шагающих движителей многоопорной машины образует взаимосвязанный привод. Система управления таким приводом обеспечивает соответствие движения транспортного комплекса заданным параметрам, и по алгоритмическому обеспечению на нее возлагается обработка сенсорной информации, формирование модели среды движения, планирование движения к цели, формирование управляющих воздействий на исполнительные устройства.

Основными задачами, решаемыми с помощью РШП при обустройстве и эксплуатации подводных месторождений, являются: разведка местности, проведение инженерных изысканий, бурение скважин различного назначения, мониторинг и обслуживание подводного оборудования, прокладка кабелей, трубопроводов и райзеров по месторождению (в том числе с выполнением траншеи), подключение и отключение соединителей электрических и гидравлических коммуникаций, взятие проб, мониторинг скважин, установка донного основания и устьевой обвязки скважины, борьба с выбросами и утечками газа, нефти и технологических жидкостей, транспортировка расходных материалов и комплектующих, использование группы платформ для транспортировки и позиционирования крупногабаритных грузов.

Классификация роботизированных шагающих платформ. В соответствии с решаемыми задачами и весом транспортируемого полезного груза и оборудования может быть предложена следующая классификация роботизированных шагающих платформ:

1. Легкий класс – аппараты для мониторинга и обслуживания оборудования систем подводной добычи – (до 2000 кг полезного груза и оборудования).

Основные задачи:

- ◆ мониторинг оборудования скважин и систем подводной добычи;
- ◆ разведка маршрутов прокладки подводных коммуникаций;
- ◆ подключение (отключение) райзеров;
- ◆ подключение (отключение) соединителей подводного оборудования к общим электрическим гидравлическим, пневматическим, оптоволоконным линиям систем управления и энергопитания систем подводной добычи;
- ◆ ремонт устьевого оборудования без демонтажа отдельных узлов,

- ◆ взятие проб, лубрикация, каротаж, мониторинг скважин;
 - ◆ перекрытие задвижек устьевого оборудования, манифольдов, превенторов дублирующими приводами при отказе основных;
2. Средний класс – аппараты для обустройства и обслуживания систем подводной добычи – (до 15000 кг полезного груза и оборудования).

Основные задачи:

- ◆ установка темплета куста скважин или донного основания;
- ◆ установка устьевой обвязки скважины;
- ◆ монтаж подводной фонтанной аппаратуры и противовыбросового оборудования;
- ◆ ремонт устьевого оборудования с демонтажем узлов;
- ◆ борьба с выбросами и утечками газа, нефти и технологических жидкостей;
- ◆ прокладка кабелей и райзеров внутри месторождения;
- ◆ доставка расходных материалов и комплектующих.

3. Тяжелый класс платформ для бурения и обустройства систем подводной добычи (до 60000 т полезного груза и оборудования).

Основные задачи:

- ◆ монтаж (демонтаж) устьевого оборудования и подключение (отключение) приводов, райзеров, кабелей и т.д.;
- ◆ мониторинг оборудования и модулей систем подводной добычи;
- ◆ разведка маршрутов прокладки подводных коммуникаций (с определением несущей способности грунта);
- ◆ прокладка кабелей, трубопроводов по месторождению, в том числе с открытием траншеи, подводной сваркой, контролем стыков плети и укладкой в траншею;
- ◆ использование группы унифицированных движителей для транспортировки и прецизионного позиционирования крупногабаритных грузов под водой, в том числе подводной буровой установки, основания бурового модуля подводного добычного комплекса.

Технические требования к РШП. В соответствии с предложенной классификацией и решаемыми задачами в условиях арктического шельфа могут быть сформулированы следующие основные технические требования к РШП

1. Глубина моря до 400 м (до 500 м в аварийном режиме).
2. Мореходность при буксировке R2-RSN – смешанная (река-море) плавание на волнении с высотой волны 3-процентной обеспеченности 6,0 м, с удалением от места убежища:
 - ◆ в открытых морях не более 50 миль и с допустимым расстоянием между местами убежища не более 100 миль;
 - ◆ в закрытых морях не более 100 миль и с допустимым расстоянием между местами убежища не более 200 миль.
3. Скорость хода под грузом по ровному дну – 2...5 км/час.
4. Скорость хода при прокладке кабелей и трубопроводов – до 0,5 км/час.
5. Уклон трассы на маршруте движения – до 30 градусов.
6. Высота преодолеваемых препятствий:
 - ◆ для легкого класса до 0,5 м;
 - ◆ для среднего класса до 1 м;
 - ◆ для тяжелого класса до 2 м.
7. Ширина преодолеваемого рва (трещины)
 - ◆ для легкого класса до 1,5 м;
 - ◆ для среднего класса до 2,5 м;
 - ◆ для тяжелого класса до 5 м.

8. Высота подъема платформы над уровнем грунта для монтажа и обслуживания оборудования:

- ◆ для легкого класса до 2 м;
- ◆ для среднего класса до 10 м;
- ◆ для тяжелого класса до 12 м.

9. Точность позиционирования выбранной точки платформы 1,0 м.

11. Точность прецизионного позиционирования выбранной точки платформы относительно оборудования 0,01 м.

12. Транспортирование:

- ◆ для легкого класса всеми видами транспорта без ограничений скорости и морская буксировка;
- ◆ для среднего класса – железнодорожным, автомобильным и водным транспортом на платформе или в контейнере и морская буксировка;
- ◆ для тяжелого класса – железнодорожным и водным транспортом в разобранном состоянии, морская буксировка, в том числе в ледовых условиях при проводке ледоколом.

Описание базовой конструкции РШП. С точки зрения преимуществ использования в технологиях освоения арктического шельфа практический интерес представляют роботизированные шагающие платформы (РШП) с ортогональными шагающими движителями, к достоинствам которых следует отнести [19]:

- ◆ необходимость применения только двух унифицированных приводов в виде отработанных поступательных механизмов, осуществляющих различные функции – курсового движения и адаптации к опорной поверхности;
- ◆ возможность значительного повышения энергетической эффективности движения при применении торможения (фиксации положения) привода адаптации, опорный элемент которого взаимодействует с грунтом;
- ◆ относительно простые законы движения приводов, позволяющие снизить требования к производительности технических средств управляющей системы.

На рис. 2 представлен возможный вид РШП, которая состоит из следующих основных частей:

- ◆ несущей и опорно-поворотной платформ;
- ◆ восьми ортогональных шагающих движителей с приводами и шарнирно закрепленной на штоке каждого вертикального привода тарельчатой опорой;
- ◆ системы энергоснабжения;
- ◆ бортовой системы управления;
- ◆ информационной системы (датчики с устройствами сопряжения).

В качестве полезного груза РШП может нести манипуляторы и съемное технологическое оборудование (механизмы подводной буровой установки, кассеты с буровыми и обсадными трубами, насосный агрегат, барабан с электрическим или волоконно-оптическим кабелем и т.п.).

Вертикальный привод каждого ортогонального шагающего движителя РШП может быть выполнен в виде мехатронного модуля на базе электрических линейных приводов – электрических цилиндров. Такой привод состоит из синхронного электродвигателя с постоянными магнитами и инвертированной роlikово-винтовой передачи, преобразующей вращательное движение ротора в поступательное движение штока, и оснащается датчиками положения штока и электрического тока двигателя (нагрузки), а также встроенным электромагнитным тормозом, обеспечивающим фиксацию штока в отсутствие соответствующего электрического сигнала

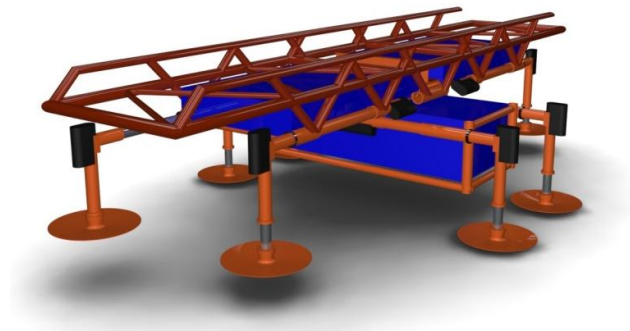


Рис. 2. Роботизированная шагающая платформа (базовое исполнение)

Данное техническое решение обеспечивает возможность значительного повышения энергетической эффективности ортогонального движителя за счет фиксации положения штока вертикального привода, находящегося в опорной фазе электромагнитным тормозом.

Применение шагающего движителя в виде мехатронных модулей, объединяющих в едином устройстве исполнительные и информационные компоненты робототехнической системы, позволяет исключить многократное преобразование энергии и информации, упростить кинематические цепи и, следовательно, обеспечить повышенную точность и улучшенные динамические характеристики, снизить стоимость проектирования, монтажа и эксплуатации за счет модульности конструкции.

Модель применения РШП при подводной добыче углеводородов. Доставка РШП на береговую базу осуществляется всеми видами транспорта. По габаритно-весовым характеристикам платформа тяжелого класса в походном положении соответствует ISO-контейнеру серии 1 (40 футовому), и ее погрузка на судно сопровождения не требует специального кранового оборудования. От береговой базы две РШП перемещаются на судне сопровождения, оборудованном краном или на буксируемых понтонах, и погружаются под воду. После определения своих геодезических координат на дне платформы перемещаются на площадку проведения работ, производят разведку местности с определением несущей способности грунта.

Для бурения скважин целесообразно привлекать несколько РШП. На рис. 3 показана буровая установка из двух платформ, организуемая с проведением взаимного позиционирования платформ, установкой временной опорной плиты, стыковкой РШП и подъемом направляющих буровой установки [20].

Далее осуществляется бурение пилотного ствола, установка направления нефтегазовой скважины с защитным колпаком, после чего РШП в состыкованном состоянии передвигаются на новую точку бурения.

Грунтовые работы на дне – выравнивание площадок, устройство траншей, закрытие их грунтом и др. - производится навесным технологическим оборудованием. В качестве бульдозерного отвала возможно использование донной опорной плиты.

Разведка местности на площадках установки модулей подводного бурового комплекса и маршрутах подводных коммуникаций осуществляется с проведением сплошных или выборочных пенетрационных измерений по определению характеристик грунта с использованием шагающих движителей платформы [21].



Рис. 3. Подводная буровая установка на базе двух роботизированных шагающих платформ

Заключение. С применением роботизированных шагающих платформ могут быть решены основные задачи обустройства подводных (подледных) месторождений полезных ископаемых.

Основными преимуществами, предложенной технологии применения технологических роботизированных шагающих платформ являются:

1. Ускорение обустройства подводных (подледных) месторождений полезных ископаемых.

2. Снижение стоимости бурения инженерно-геологических, пилотных и свайных скважин.

3. Повышение мобильности оборудования на месторождении и в пределах всего Арктического шельфа.

Предлагаемая технология проведения работ на дне моря с использованием роботизированных шагающих платформ может быть составной частью технологии освоения подводных месторождений полезных ископаемых арктических морей с использованием роботизированного бурового комплекса, а также использоваться при освоении морского дна в иных целях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шурыгин В.А., Серов В.А., Ковшов И.В. Концепция обустройства и обеспечения эксплуатации месторождений углеводородов на морском шельфе с использованием роботизированных шагающих платформ // Труды Международной конференции и выставки по судостроению и разработке высокотехнологичного оборудования для освоения континентального шельфа Offshore Marintec Russia – 2016 и 16-го Петербургского международного энергетического форума 4–7 октября 2016 г., Санкт Петербург. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2016. – С. 113-120.
2. Пронкин А.П., Хворостовский И.С., Хворостовский С.С. Морские буровые моноопорные основания. Теоретические основы проектирования и эксплуатации / под ред. С.С. Хворостовского. – М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2002. – 303 с.
3. Jin-Ho Kim, Tae-Kyeong Yeu, Suk-Min Yoon, Hyung-Woo Kim, Jong-Su Choi, Cheon-Hong Min and Sup Hong. Electric-Electronic System of Pilot Mining Robot, MineRo-II // Proceedings of the Tenth ISOPE Ocean Mining and Gas Hydrates Symposium Szczecin, Poland, September 22-26, 2013. – P. 269-273.

4. Verichev S., Laurens de Jonge, Wiebe B., Rodney N. Deep mining: from exploration to exploitation // Minerals of the Ocean – 7 & Deep-Sea Minerals and Mining – 4: abstracts of International Conference // VNIIOkeangeologia. – St. Petersburg, 2014. – P. 126-138.
5. Jin-Ho Kim, Tae-Kyeong Yeu, Suk-Min Yoon, Hyung-Woo Kim, Jong-Su Choi, Cheon-Hong Min and Sup Hong Electric-Electronic System of Pilot Mining Robot, MineRo-II // Proceedings of the Tenth ISOPE Ocean Mining and Gas Hydrates Symposium Szczecin, Poland, September 22-26, 2013. – P. 269-273.
6. Yoo, S.Y., Jun, B.H., Shim, H. Design of static gait algorithm for hexapod subsea walk-ing robot: Crabster, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers – September 2014. – Vol. 38, Issue 9. – P. 989-997.
7. Чернышев В.В. Арыканцев В.В. МАК-1 – подводный шагающий робот // Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – № 2. – С. 45-50.
8. Чернышев В.В., Шурыгин В.А. Моделирование динамики взаимодействия двигателя подводного шагающего аппарата с грунтом с низкой несущей способностью // Известия ВолгГТУ. – 2013. – № 24 (127). – С. 82-86.
9. Чернышев В.В., Арыканцев В.В., Гаврилов А.Е., Калинин Я.В., Шаронов Н.Г. Design and underwater tests of subsea walking hexapod МАК-1 // Proceedings of the ASME 2016 35th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2016 (Busan, South Korea, June 19-24, 2016) / Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OOAE) Division of The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Pusan National University. – Busan, 2016. – 9 p.
10. Брискин Е.С., Чернышев В.В., Малолетов А.В., Шаронов Н.Г. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин // Робототехника и техническая кибернетика. – 2013. – № 1 (1). – С. 6-14.
11. Briskin E.S., Shurygin V.A., Chernyshev V.V., Maloletov A.V., Sharonov N.G., Kalinin Ya.V., Leonard A.V., Serov V.A., Mironenko K.B., Ustinov S.A. Problems of increasing efficiency and experience of walking machines elaborating // Advances on theory and practice of robots and manipulators: proceedings of ROMANSY 2014 XX CISM-IFTtoMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. – 2014. – P. 383-390.
12. Шурыгин В.А., Серов В.А., Шаронов Н.Г. Моделирование движения шагающей машины с ортогонально-поворотными двигателями // Известия ВолгГТУ. – 2011. – № 11. – С. 41-44.
13. Калинин Я.В., Устинов С.А., Шкутан Д.В. Задачи поиска энергетически эффективных алгоритмов движения шагающих машин // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 19: межвузовский сборник научных трудов. – 2013. – № 24 (127). – С. 36-38.
14. Калинин Я.В., Устинов С.А., Шкутан Д.В. Энергетически эффективные алгоритмы движения шагающих машин // XXVI международная инновационно-ориентированная конференция молодых учёных и студентов. МИКМУС-2014 (г. Москва, 17-19 дек. 2014 г.): Материалы конференции / Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН [и др.]. – М., 2014. – С. 71.
15. Брискин Е.С., Чернышев В.В., Шаронов Н.Г., Серов В.А., Мironenko К.Б., Устинов С.А. Отработка методов удаленного управления движением шагающего робота «Ортоног» // Электротехнические системы и комплексы: (ежегодник / МГТУ им. Г.И. Носова). – 2013. – № 21. – С. 153-160.
16. Брискин Е.С., Чернышев В.В., Шаронов Н.Г., Серов В.А., Мironenko К.Б., Устинов С.А. Отработка методов нечеткого управления шагающим роботом «Ортоног» в полевых условиях // Исследования наукограда. – 2013. – № 2. – С. 43-48.
17. Chernyshev V.V., Gavrilov A.E. Traction properties of walking machines on underwater soils with a low bearing ability // Minerals of the Ocean – 7 & Deep-Sea Minerals and Mining – 4: abstracts of Int. Conf. / VNIIOkeangeologia. – St. Petersburg, 2014. – P. 21-24.
18. Арыканцев В.В., Чернышев В.В. Подводные исследования тягово-цепных свойств и проходимости шагающего аппарата МАК-1 // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 10 (171). – С. 169-178.
19. Брискин Е.С., Калинин Я.В., Малолетов А.В., Серов В.А., Устинов С.А. Об управлении адаптацией ортогональных шагающих двигателей к опорной поверхности // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2017. – № 3. – С. 184-190.

20. Шурьгин В.А., Серов В.А., Ковшов И.В., Устинов С.А. Технология применения подводных шагающих роботизированных платформ при освоении подводных (подледных) месторождений углеводородов // Седьмая Всероссийская научно-техническая конференция «Технические проблемы освоения мирового океана» (г. Владивосток, 2-6 октября 2017 г.): Материалы конференции / Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН. – 2017. – С.43-47.
21. Ковшов И.В., Рябова Ю.С., Серов В.А., Устинов С.А. Алгоритм адаптации подводной роботизированной шагающей платформы на маршруте движения // XXXVII Всероссийская конференция по проблемам науки и технологий, посвящённая 70-летию Государственного ракетного центра им. академика В.П. Макеева (г. Миасс, Челябинская обл., 13-15 июня 2017 г.) / РАН, Мин-во обороны РФ, Межрегиональный совет по науке и технологиям [и др.]. – М., 2017. – Т. 2. – С. 124-132.

REFERENCES

1. Shurygin V.A., Serov V.A., Kovshov I.V. Kontseptsiya obustroystva i obespecheniya ekspluatatsii mestorozhdeniy uglevodorodov na morskoy shel'fe s ispol'zovaniem robotizirovannykh shagayushchikh platform [The concept of the arrangement and operation of deposits of hydrocarbons offshore using a robotic walking platforms], *Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii i vystavki po sudostroeniyu i razrabotke vysokotekhnologichnogo oborudovaniya dlya osvoeniya kontinental'nogo shel'fa Offshore Marintec Russia – 2016 i 16-go Peterburgskogo mezhdunarodnogo energeticheskogo foruma 4–7 oktyabrya 2016 g., Sankt Peterburg* [Proceedings of the International conference and exhibition on shipbuilding and development of high-tech equipment for the development of the continental shelf Offshore Marintec Russia 2016 and the 16th St. Petersburg international energy forum October 4-7, 2016, St. Petersburg]. Saint Petersburg: KhIMIZDAT, 2016, pp. 113-120.
2. Pronkin A.P., Khvorostovskiy I.S., Khvorostovskiy S.S. Morskie burovye monoopornye osnovaniya. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya i ekspluatatsii [Offshore drilling Monoporeia base. The theoretical basis for the design and operation], ed.by S.S. Khvorostovskogo. Moscow: ООО "Nedra-Biznestsentr", 2002, 303 p.
3. Jin-Ho Kim, Tae-Kyeong Yeu, Suk-Min Yoon, Hyung-Woo Kim, Jong-Su Choi, Cheon-Hong Min and Sup Hong. Electric-Electronic System of Pilot Mining Robot, MineRo-II, *Proceedings of the Tenth ISOPE Ocean Mining and Gas Hydrates Symposium Szczecin, Poland, September 22-26, 2013*, pp. 269-273.
4. Verichev S., Laurens de Jonge, Wiebe B., Rodney N. Deep mining: from exploration to exploitation, *Minerals of the Ocean – 7 & Deep-Sea Minerals and Mining – 4: abstracts of International Conference, VNIIOkeangeologia*. Saint Petersburg, 2014, pp. 126-138.
5. Jin-Ho Kim, Tae-Kyeong Yeu, Suk-Min Yoon, Hyung-Woo Kim, Jong-Su Choi, Cheon-Hong Min and Sup Hong. Electric-Electronic System of Pilot Mining Robot, MineRo-II, *Proceedings of the Tenth ISOPE Ocean Mining and Gas Hydrates Symposium Szczecin, Poland, September 22-26, 2013*, pp. 269-273.
6. Yoo, S.Y., Jun, B.H., Shim, H. Design of static gait algorithm for hexapod subsea walk-ing robot: Crabster, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers* – September 2014, Vol. 38, Issue 9, pp. 989-997.
7. Chernyshev V.V. Arykantsev V.V. MAK-1 – podvodnyy shagayushchiy robot [MAC-1 – underwater walking robot], *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and technical cybernetics], 2015, No. 2, pp. 45-50.
8. Chernyshev V.V., Shurygin V.A. Modelirovanie dinamiki vzaimodeystviya dvizhitelya podvodnogo shagayushchego apparata s gruntom s nizkoy nesushchey sposobnost'yu [Modeling the dynamics of the interaction of the propulsor of the underwater walking apparatus with a soil with low bearing capacity], *Izvestiya VolgGTU* [Izvestia VSTU], 2013, No. 24 (127), pp. 82-86.
9. Chernyshev V.V., Arykantsev V.V., Gavrilov An.E., Kalinin Ya.V., Sharonov N.G. Design and underwater tests of subsea walking hexapod MAK-1, *Proceedings of the ASME 2016 35th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2016 (Busan, South Korea, June 19-24, 2016) / Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OOAE) Division of The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Pusan National University*. Busan, 2016, 9 p.

10. Briskin E.S., Chernyshev V.V., Maloletov A.V., Sharonov N.G. Sravnitel'nyy analiz kolesnykh, gusenichnykh i shagayushchikh mashin [Comparative analysis of wheeled, tracked and walking machines], *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and technical cybernetics], 2013, No. 1 (1), pp. 6-14.
11. Briskin E.S., Shurygin V.A., Chernyshev V.V., Maloletov A.V., Sharonov N.G., Kalinin Ya.V., Leonard A.V., Serov V.A., Mironenko K.B., Ustinov S.A. Problems of increasing efficiency and experience of walking machines elaborating, *Advances on theory and practice of robots and manipulators: proceedings of ROMANSY 2014 XX CISM-IFTToMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators*, 2014, pp. 383-390.
12. Shurygin V.A., Serov V.A., Sharonov N.G. Modelirovanie dvizheniya shagayushchey mashiny s ortogonal'no-povorotnymi dvizhitelyami [Modeling of movement of walking machines with orthogonal-rotating propulsion], *Izvestiya VolgGTU* [Izvestia VSTU], 2011, No. 11, pp. 41-44.
13. Kalinin Ya.V., Ustinov S.A., Shkutan D.V. Zadachi poiska energeticheski effektivnykh algoritmov dvizheniya shagayushchikh mashin [The problem of finding energy-efficient algorithms of movement of walking machines], *Izvestiya VolgGTU. Seriya «Aktual'nye problemy vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh» Vyp. 19: mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Izvestia VSTU. Series "Actual problems of computer engineering and Informatics in technical systems". Vol. 19: interuniversity collection of scientific papers], 2013, No. 24 (127), pp. 36-38.
14. Kalinin Ya.V., Ustinov S.A., Shkutan D.V. Energeticheski effektivnye algoritmy dvizheniya shagayushchikh mashin [Energy-efficient algorithms of movement of walking machines], *XXVI mezhdunarodnaya innovatsionno-orientirovannaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov. MIKMUS-2014 (g. Moskva, 17-19 dek. 2014 g.): Materialy konferentsii / Institut mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova RAN [i dr.]* [XXVI international innovation-oriented conference of young scientists and students. MIKAS-2014 (Moscow, 17-19 Dec. 2014): conference Materials, the Institute of machines science named. A.A. Blagonravova of the RAS [et al.]. Moscow, 2014, pp. 71.
15. Briskin E.S., Chernyshev V.V., Sharonov N.G., Serov V.A., Mironenko K.B., Ustinov S.A. Otrabotka metodov udalennogo upravleniya dvizheniem shagayushchego robota «Ortonog» [The development of methods for remote motion control of a walking robot "Ortholog"], *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы: (ezhegodnik, MGTU im. G.I. Nosova)* [Electrical systems and complexes: (Yearbook, MGTU im. G.I. Nosov)], 2013, No. 21, pp. 153-160.
16. Briskin E.S., Chernyshev V.V., Sharonov N.G., Serov V.A., Mironenko K.B., Ustinov S.A. Otrabotka metodov nechetkogo upravleniya shagayushchim robotom «Ortonog» v polevykh usloviyakh [Development of methods of fuzzy control walking robot "Orthog" in the field], *Issledovaniya naukoigrada* [The Research of the Science City], 2013, No. 2, pp. 43-48.
17. Chernyshev V.V., Gavrilov A.E. Traction properties of walking machines on underwater soils with a low bearing ability, *Minerals of the Ocean – 7 & Deep-Sea Minerals and Mining – 4: abstracts of Int. Conf.6 VNIIOkeangeologia*. Saint Petersburg, 2014, pp. 21-24.
18. Arykantsev V.V., Chernyshev V.V. Podvodnye issledovaniya tyagovo-stsepynykh svoystv i prokhodimosti shagayushchego apparata MAK-1 [Underwater research traction properties and permeability of the walking machine of the IAC-1], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 10 (171), pp. 169-178.
19. Briskin E.S., Kalinin Ya.V., Maloletov A.V., Serov V.A., Ustinov S.A. Ob upravlenii adaptatsiey ortogonal'nykh shagayushchikh dvizhiteley k opornoy poverkhnosti [About managing the adaptation of orthogonal walking movers to the support surface], *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems], 2017, No. 3, pp. 184-190.
20. Shurygin V.A., Serov V.A., Kovshov I.V., Ustinov S.A. Tekhnologiya primeneniya podvodnykh shagayushchikh robotizirovannykh platform pri osvoenii podvodnykh (podlednykh) mestorozhdeniy uglevodorodov [Application technology of underwater walking robotic platforms in the development of underwater (under-ice) of hydrocarbon deposits], *Sed'maya Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Tekhnicheskie problemy osvoeniya mirovogo okeana» (g. Vladivostok, 2-6 oktyabrya 2017 g.): Materialy konferentsii / Institut problem morskikh tekhnologiy Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN* [The seventh all-Russian scientific-technical conference "Technical problems of mastering the world ocean" (Vladivostok, October 2-6, 2017): conference Materials, the Institute of marine technology problems far Eastern branch Russian Academy of Sciences], 2017, pp. 43-47.

21. Kovshov I.V., Ryabova Yu.S., Serov V.A., Ustinov S.A. Algoritm adaptatsii podvodnoy robotizirovannoy shagayushchey platformy na marshrute dvizheniya [The adaptation algorithm of underwater robotic walking platform on the route], *XXXVII Vserossiyskaya konferentsiya po problemam nauki i tekhnologii, posvyashchennaya 70-letiyu Gosudarstvennogo raketnogo tsentra im. akademika V.P. Makeeva (g. Miass, Chelyabinskaya obl., 13-15 iyunya 2017 g.) / RAN, Min-vo oborony RF, Mezhhregional'nyy sovet po nauke i tekhnologiyam [i dr.]* [XXXVII all-Russian conference on problems of science and technology, dedicated to the 70th anniversary of the State rocket center named. academician V.P. Makeyev (Miass, Chelyabinsk region, from 13 to 15 June 2017), Russian Academy of Sciences, the Ministry of defence of the Russian Federation, the interregional Council on science and technology [and others]. Moscow, 2017, Vol. 2, pp. 124-132.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.В. Чернышев.

Серов Валерий Анатольевич – АО «Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»; e-mail: cdb@cdbtitan.ru; 400071, г. Волгоград, проспект им. В.И. Ленина; тел.: 88442749326; к.т.н.; и.о. первого заместителя генерального директора и генерального конструктора.

Ковшов Игорь Викторович – к.т.н.; главный конструктор НТН-5.

Устинов Сергей Анатольевич – к.т.н.; начальник отдела.

Serov Valeriy Anatolievich – Join-stock company «The Federal research-and-production centre «Titan-Barricades»; e-mail: cdb@cdbtitan.ru; 400071, Volgograd, pr. V.I. Lenin; phone: +78442749326, cand. of eng. sc.; Acting First Deputy of General Director and General Designer.

Kovshov Igor Viktorovich – cand. of eng. sc.; Chief Designer of the Fifth Scientific and Technical Department.

Ustinov Sergey Anatolievich – cand. of eng. sc.; head of department.

УДК 004.041

DOI 10.23683/2311-3103-2017-9-192-201

И.М. Бородянский, Л.В. Гордиенко, А.И. Павлова

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ГОРОДСКИМ ХОЗЯЙСТВОМ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СОЦИОСЕМАНТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

В данной работе проблему состояния дорожной инфраструктуры города предлагается решать с помощью метода поддержки принятия решения на основе интеграции геоинформационных, экспертных систем и социосемантического элемента. К выявлению недостатков дорожной инфраструктуры города привлекаются обычные граждане – пользователи мобильных устройств. Разработана геоинформационная система в форме мобильного приложения, позволяющая осуществлять сбор и передачу пространственных и атрибутивных данных обнаруженных проблем. Встроенная экспертная система на основе знаний экспертов ранжирует проблемы по степени их риска. Экспертная система использует представление знаний в форме правил-продукций. Данный подход позволяет в кратчайшие сроки принимать решения о реконструкции или ремонте наиболее рискованных участков при ограниченных средствах. Проблемы дорожной инфраструктуры классифицированы и в системе представлены в виде интерактивного списка. Описан регламент и функции работы системы. В качестве картографической основы приложения выбран API Яндекс.Карты. Для прототипирования интерфейса пользователя в приложении использован фреймворк jQuery Mobile, который автоматизирует процесс создания Ajax сайтов и приложений. Вся информация, публикуемая пользователями, хранится на сервере в виде таблиц