

# Перспективные подводные робототехнические системы и сферы их применения

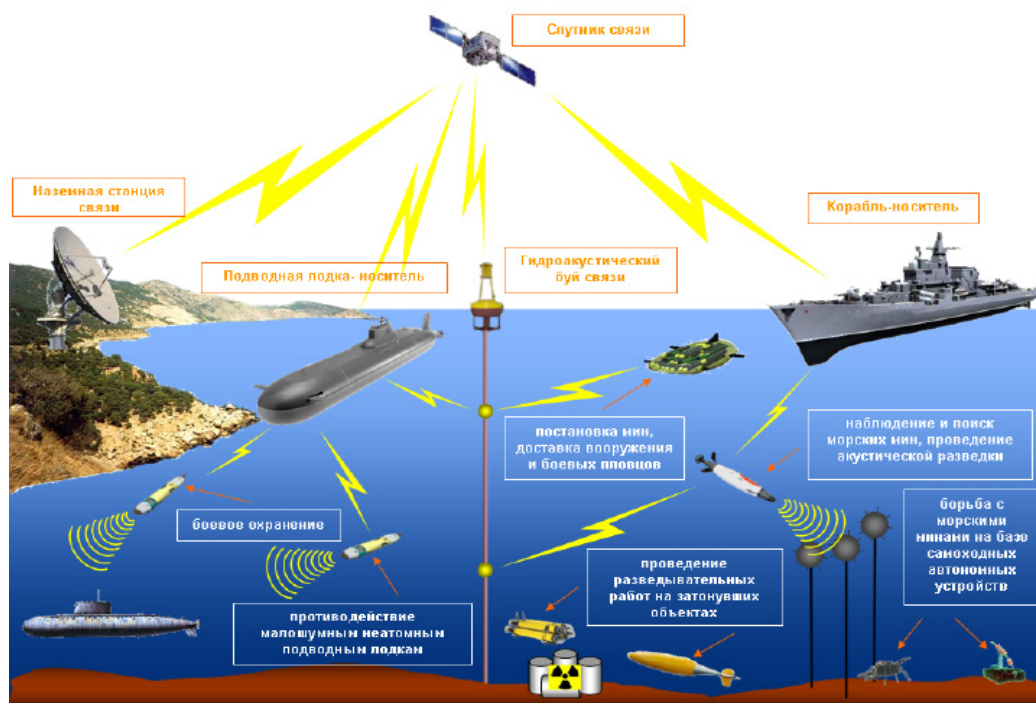
**Н.В.Захаров**, старший научный сотрудник, доцент.

**В.А.Капустин**, научный сотрудник. ЦНИИ Робототехники и Технической Кибернетики (ЦНИИ РТК)

**В** настоящее время в связи со сложной ситуацией в сфере пополнения сырьевыми ресурсами необходим поиск новых путей решения энергетической проблемы. Хотя в отечественных и зарубежных средствах массовой информации все чаще упоминается о новых принципах получения энергии с использованием современных технологий и альтернативных энергоносителей, но по-прежнему основными являются нефть и природный газ. Углеводородное сырье было, и в ближайшее время еще будет оставаться важнейшим структурным элементом развития экономики. В течение еще многих десятилетий альтернативных источников энергии такого масштаба не предвидится, а запасы углеводородов на суше при растущем потреблении будут быстро иссякать. Поэтому технологически развитые страны давно обратили внимание на природно-ресурсный потенциал континентального шельфа и проблемы его освоения.

Россия с самой протяженной береговой линией в мире обладает уникальными запасами нефти и газа на континентальном шельфе. К концу 2002 г. в Баренцевом, Карском и Печорском морях, а так же в районе Обской губы было открыто 15 месторождений нефти и газа. По классу крупности три месторождения относятся к уникальным, девять – к крупным, два – к средним и одно – к мелким. По нынешним оценкам, на Арктическом шельфе сосредоточено до 80% потенциальных углеводородных запасов России.

Накопление опыта в освоении нефтегазовых месторождений континентального шельфа необходимо для присутствия России в Мировом океане, обеспечения энергетической безопасности и ее национальных интересов в конкурентной борьбе за природные морские ресурсы. Возможность решения приведенной глобальной государственной задачи обусловлено использованием современных технологий, технических средств и систем, необходимых для обустройства и эксплуатации месторождений. На данный момент Россия не является лидером в этой области. Так, по данным 2005 г. с прибрежного шельфа добывается около 3% российской нефти. Однако у российских и зарубежных компаний имеется большой интерес к освоению арктических месторождений, и в первую очередь самых богатых из них – Приразломного и Штокмановского, расположенных в Мурманской области. Штокмановское место-



**Рис. 1** Применение подводных РТС в военной сфере.

рождение очень сложно для разработки из-за значительной удаленности от берега, глубины моря, суровых климатических условий и сложного рельефа дна. При этом опасения экологов внушает и отсутствие достаточного объема наблюдений и информации в целом по гидрометеорологическим условиям акватории [1]. Эти обстоятельства накладывают ряд ограничений на использование водолазов и традиционных видов подводной техники при разработке подобных месторождений. Для проведения работ в таких условиях наиболее перспективным считается применение подводных робототехнических систем (РТС). В настоящее время подводные РТС решают разнообразные задачи в области гидрологии Мирового океана, геологии морского дна, биологии и промысловой океанологии. Существуют различные оценки эффективности подобных систем по сравнению с другими техническими средствами и системами при проведении глубоководных работ. Так, компания Shell оценила экономический эффект применения подводных РТС при выполнении различных работ, связанных с обследованием районов для бурения скважин, маршрутов прокладки трубопроводов и сбора океанографических данных [2]. Проведены подсчеты, показывающие, что Shell за пять лет может

сэкономить 100 млн. долл. на прямых операционных затратах и за счет ограничения консерватизма в проектировании. После проведения расчетов другие компании экстраполировали эти данные на себя и провели дополнительные исследования, чтобы разобраться с новыми возможностями снижения затрат благодаря применению автономных подводных роботов. Результаты оценок, выполненных представителями Kongsberg Simrad, показали, что экономия от применения подобных систем для компании может составить 772 млн. долл. [3].

Мировая практика использования подводных РТС показала, что они могут успешно использоваться в сложных климатических условиях для проведения подводных работ при прокладке оптоволоконного кабеля на арктическом дне, а также инспекцией подводных сооружений. Обладая рядом преимуществ, современные подводные РТС имеют возможность производить прецизионные измерения в сочетании с высокой точностью навигационной привязки, организовывать планомерные сети траекторий, обеспечивать возможность оперативного мониторинга и документирования информации для освещения подводной обстановки. Безусловно, при практическом использовании автономных подводных роботов в процессе разработки шельфовых ме-

сторожений существует ряд технических вопросов, которые еще не решены до конца и требуют проведения дополнительных исследований. Например, обследование подводных коммуникаций представляет на данный момент определенную техническую сложность, связанную с комплексной обработкой информации и обеспечением программой интеллектуального поведения подводной РТС. Решение этих вопросов возможно при условии автоматизации процессов управления на основе вычислительной техники и разработки для нее специфических программ. К тому же выполнение многих задач связано с обеспечением подводных РТС комплексом конструктивно-технических мер по поддержанию живучести и безопасности плавания.

Подобные требования к подводным РТС предъявляются при использовании их и в военной сфере. Анализ информационных материалов о ведущихся за рубежом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах показывает, что подводные РТС рассматриваются специалистами наиболее развитых в научно-техническом отношении стран в качестве одного из важнейших перспективных средств повышения боевой эффективности военно-морских сил. Актуальность применения автономных подводных роботов связана с тем, что характер современных конфликтов на море приобретает регионально ориентированный характер. Основным инструментом регионально ориентированной стратегии ведения боевых действий выступают ВМС, развернутые в передовых районах мирового океана. Состоящие на вооружении ведущих иностранных государств подводные РТС способны в нужной мере обеспечивать выполнение задач по обнаружению и уничтожению минных полей и эффективному противодействию малозумным подводным лодкам (рис. 1). Наиболее перспективными направлениями развития военных подводных РТС являются:

- создание автономных подводных роботов дистанционного наблюдения (Remote Surveillance System), поиска морских мин (Mine Search System) и проведения тактической акустической разведки (Tactical Acoustic System) (США, Великобритания);

- разработка комплексов борьбы с морскими минами на базе самоходных автономных устройств (США);

- создание в дальней перспективе носимых многоцелевыми подводными лодками подводных минироботов, способных самостоятельно преодолевать минные поля, противодействовать малозумным неатомным подводным лодкам в прибрежных районах, осуществлять минирование подходов к портам и морским базам и, наконец, возвращаться к кораблям-носителям и стыковаться с ними (США).

На основе опыта эксплуатации подводных технических систем, находящихся в составе ВМС США и их союзников, уже началось оснащение аппаратами-роботами атомных подводных лодок ВМС США. В состав таких роботов, в зависимости от решаемых задач, входит: система прецизионного картографирования морского дна, разведывательная аппаратура, средства для сбора батиметрических и гидрологических данных, выставляемая связная и навигационная аппаратура [4]. К сожалению, в России суще-

ствующие разработки подводных РТС до сих пор не находят широкого применения.

Современный этап развития подводной робототехники связан с расширением областей применения подводных РТС на основе адаптивных и интеллектуальных систем, появлением новых алгоритмов и принципов интеллектуального управления роботами в изменяющейся среде, появлением новых технологий и материалов (микротехнологии, наноматериалы). В результате проведенных работ были созданы образцы подводной робототехники, отличающихся друг от друга своими массо-габаритными, конструктивно-технологическими и функциональными характеристиками. В настоящее время существует

ряд подводных РТС, которые условно делятся на следующие типы:

- автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА);
- подводные минироботы;
- подводные микророботы.

Наиболее известные зарубежные и отечественные разработки подводных РТС приведены в таблице 1.

### Автономные необитаемые подводные аппараты

Среди подводных аппаратов, используемых в ряде стран мира, наибольшее распространение получили буксируемые, телеуправляемые самоходные и автономные необитаемые под-

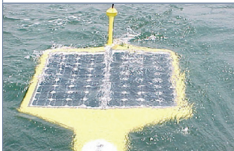
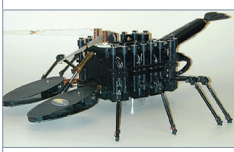
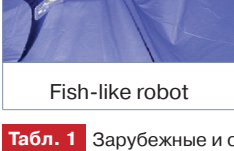
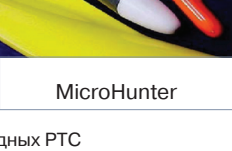
| АНПА                                                                                |                                                                                                      |                                                                                       |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Норвегия,<br>Kongsberg-Simrad/C&C<br>Tech.,<br>1995-1998<br>www.km.kongsberg.com                     |    | Англия,<br>SOC/Haliburton<br>Subsea, 1995                                           |
| Hugin                                                                               |                                                                                                      | Autosub                                                                               |                                                                                     |
|   | США, MIT, 1992<br>aurlab.mit.edu                                                                     |   | Россия,<br>ИПМТ ДВО РАН<br>www.febras.ru                                            |
| Odyssey                                                                             |                                                                                                      | САНПА                                                                                 |                                                                                     |
| МИНИРОБОТЫ                                                                          |                                                                                                      |                                                                                       |                                                                                     |
|  | США,<br>Falmouth Scientific Inc.<br>www.falmouth.com                                                 |  | США,<br>WHOI, 1995-1998<br>www.hydroinc.com                                         |
| SAUV                                                                                |                                                                                                      | Fetch                                                                                 |                                                                                     |
|  | Исландия,<br>Hafmynd Ltd, 2003<br>www.gavia.is                                                       |  | США,<br>WHOI, 1995-1998<br>www.hydroinc.com                                         |
| Gavia                                                                               |                                                                                                      | Remus                                                                                 |                                                                                     |
|  | США, Center for Marine<br>Science University<br>of North Carolina<br>www.cormp.org/glider            |  | Россия, Морское<br>подводное оружие –<br>Гидроприбор<br>www.gidropribor.ru          |
| Gliders                                                                             |                                                                                                      | Универсал                                                                             |                                                                                     |
| МИКРОРОБОТЫ                                                                         |                                                                                                      |                                                                                       |                                                                                     |
|  | США,<br>Marine Science Center<br>www.neurotechnology.<br>neu.edu                                     |  | Япония,<br>Hirose Fukushima<br>Robotics lab, 2005<br>www-robot.mes.titech.<br>ac.jp |
| Lobster                                                                             |                                                                                                      | Amphibious<br>snake-like robot                                                        |                                                                                     |
|  |                                                                                                      |                                                                                       |                                                                                     |
| Minoga                                                                              |                                                                                                      |                                                                                       |                                                                                     |
|  | Италия,<br>Technical University,<br>Politecnico di Torino,<br>University of Cagliari, Italy,<br>2003 |  | США,<br>Nekton Research, 2002<br>www.nektonresearch.com                             |
| Fish-like robot                                                                     |                                                                                                      | MicroHunter                                                                           |                                                                                     |

Табл. 1 Зарубежные и отечественные разработки подводных РТС

водные аппараты. По сравнению с первыми двумя типами аппаратов автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) имеют ряд преимуществ, обусловленных отсутствием кабельной связи с судном-носителем. Принятое конструктивное решение предопределило ряд направлений развития информационно-управляющих подсистем, обеспечивающих автономную работу аппарата по заданной программе с использованием элементов искусственного интеллекта [5]. Современные АНПА, обладающие адаптивным поведением, действуют самостоятельно при выполнении операций в сложных геофизических условиях. При этом оператор осуществляет постоянное стратегическое и тактическое вмешательство в поведение подводного АНПА. Участие оператора в управлении сводится к указанию цели и лаконичного задания. Выход к цели и все манипуляции подводный АНПА осуществляет самостоятельно. Оптимальные параметры движения, последовательность работы приводов и т. п. в ходе выполнения операций подводными АНПА выбираются с учетом текущих условий внешней среды и параметров внутреннего состояния РТС.

### Минироботы

С начала 90-х годов активно ведется создание подводных минироботов, обладающих искусственным интеллектом. Участие человека в процессе управления минироботами сведено к минимуму. При этом оператор выдает роботу общее задание, а все задачи, связанные с тактикой и даже стратегией поведения подводный робот решает самостоятельно. Обладая мощными вычислительными ресурсами, позволяющими анализировать и распознавать образы внешней среды, робот может выполнять задачи ориентации с учетом изменяющейся подводной обстановки. Такой робот способен к адаптации, смене действий, накоплению опыта общения с внешней средой и использованию этого опыта для выполнения заданной операции. К настоящему времени создано множество подобных РТС, активно использующихся в научных и коммерческих проектах.

### Микророботы

Подводные микророботы – это новый класс изделий микросистемной техники, сформировавшийся в результате миниатюризации всех систем подводных РТС, основные узлы которых создаются на базе микротехнологий. Подобные РТС, несмотря на малые размеры, способны осуществлять навигацию в автономном режиме с использованием природных ориентиров, передвигаться в большом диапазоне глубин, как поодиночке, так и в составе группы роботов. В то же время, отдельный микроробот обладает, как правило, крайне ограниченными возможностями. Поэтому эффективное функционирование подводных микророботов возможно только при их массовом применении. Примером такого массового применения может служить так называемая «умная пыль», когда «туча» простейших микророботов используется для решения некоторого множества целевых задач.

В настоящее время наибольшее внимание при разработки подводных РТС уделяется следующим направлениям:

| Тактико-технические, конструктивные и экономические характеристики | Микророботы                                                                      | Минироботы                                                                                     | Подводные аппараты                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Характерный размер, м                                              | 0,05 – 0,5                                                                       | 0,5 - 2,5                                                                                      | 2 – 11                                                                                                                                              |
| Отношение длины к ширине корпуса                                   | 1 – 6                                                                            | 3 – 9                                                                                          | 3 – 9                                                                                                                                               |
| Масса (весовое водоизмещение), кг                                  | 0,01 – 5                                                                         | 5 – 250                                                                                        | 250 – 10000                                                                                                                                         |
| Скорость, м/с                                                      | 0,5 – 1,5                                                                        | 0,5 – 3                                                                                        | 1 – 2,5                                                                                                                                             |
| Буксировочная мощность, Вт                                         | 0,005 – 0,5                                                                      | 0,5 – 50                                                                                       | 50 – 500                                                                                                                                            |
| Энергопотребление (общее), Вт                                      | 0,1 – 10                                                                         | 10 – 250                                                                                       | 1500 – 20000                                                                                                                                        |
| Энерговооруженность, кВт/м³                                        | 2 – 10                                                                           | 1 – 2                                                                                          | 3 – 8                                                                                                                                               |
| Автономность по энергии, ч                                         | 1 – 30                                                                           | до 36                                                                                          | 4 – 60                                                                                                                                              |
| Глубина погружения, м                                              | 5 – 100                                                                          | 100 – 6000                                                                                     | 300 – 6000                                                                                                                                          |
| Стоимость, тыс. долл.                                              | 4 – 46                                                                           | 200 – 500                                                                                      | 1000 – 10000                                                                                                                                        |
| Форма несущей конструкции                                          | Торпедообразная, биоподобная, сложная                                            | Торпедообразная, планерная, сферическая                                                        | Торпедообразная, сферическая, сложная                                                                                                               |
| Подсистемы                                                         | энергообеспечение; актюаторная; информационно-управляющая; сенсорная; вооружения | энергообеспечение; актюаторная; информационно-управляющая; сенсорная; вооружения; транспортная | энергообеспечение; движительно-рулевая; программного управления; навигационная; гидроакустическая; технического зрения; информационно-измерительная |

Табл. 2 Характеристики современных и перспективных подводных РТС

■ создание компьютеризированной системы управления роботизированным подводным аппаратом, выполняющей в реальном масштабе времени планирование операций и обеспечивающей надежные действия аппарата, в том числе и за счет постоянного диагностирования состояния его технических средств и своевременной реакции на их отказы;

■ совершенствование системы навигации, включающей в свой состав инерциальную навигационную подсистему, доплеровские гидроакустические сенсоры, а также радиоприемник с антенной глобальной навигационной системы GPS, используемый для получения данных о местоположении и скорости роботизированных подводных аппаратов;

■ создание системы акустической связи;

■ исследования в области использования биоподобных принципов передвижения.

Современные технологические возможности накладывают ряд ограничений на элементную базу мини- и в большей степени микроробототехнических систем. Несмотря на достижения бурно развивающейся области микросистемной техники (МСТ), ориентирующейся на создании микроэлектромеханических систем (МЭМС), все ее достоинства по миниатюризации не могут быть использованы в подводных РТС. Это связано с тем, что использование современных достижений в области разработок миниатюрных устройств связи, сенсорных и информационно-управляющих систем ограничиваются отсутствием миниатюрных систем энергообеспечения с необходимыми характеристиками:

высокой плотностью энергии и надежностью, а также простотой обслуживания и низкой распознаваемостью (физические поля).

Наиболее широко используемые на данный момент никель-кадмиевые, никель-металгидридные и литиевые аккумуляторные батареи являются наилучшими по своим характеристикам, но по-прежнему не являются оптимальными. Общий объем системы энергообеспечения подводного робота часто составляет 40-70% от объема полезной нагрузки всей робототехнической системы. Таким образом, повышение энергоемкости и уменьшение размеров системы энергообеспечения подводных РТС может быть достигнуто либо подбором оптимальных компонентов для аккумуляторных батарей, либо улучшением характеристик макетных образцов перспективных источников энергии (топливных, полугорючих, микрогазотурбинных установок и других нетрадиционных источников).

Существует ряд ограничений по массогабаритным характеристикам подводных РТС, которые влияют на их автономность. Выходом из этой ситуации является использование быстро-развертываемых стационарных или подвижных систем энергоснабжения.

Перспективные технические решения, внедряемые при проектировании современных водных мини- и микроробототехнических систем, имеют ряд особенностей по сравнению с традиционными. Наряду с традиционными подходами при формировании конструктивных и гидродинамических схем применяются новые решения, связанные с использованием

законов и принципов живой природы. При этом наибольшее внимание уделяется изучению и использованию биоподобного механизма передвижения, напоминающего по своей природе и биоморфной структуре двигательную систему живых водных организмов (моллюсков, рыб, лобстеров и т.д.). Такой подход может обеспечить достижение лучших гидродинамических характеристик в мини- и микророботах по сравнению с традиционными схемами.

Ограничение по массо-габаритным параметрам существенно влияет на основные тактические характеристики подводных РТС. Предполагается, что в будущем подводные РТС будут выполнять множество задач, связанных не только с экстремальными подводными операциями, где их применение оказывается единственно возможным в силу сложных геофизических условий или имеющейся угрозы для жизни человека, но и для решения задач двойного назначения. В связи с этим можно сказать, что функциональность РТС будет расширяться не только за счет новых технологических возможностей и конструктивных решений, но и за счет реализации различных алгоритмов комплексного (группового) использования водных технических систем.

С учетом размерных ограничений и существующей на данный момент элементной базы, можно говорить о том, что отдельно взятая малая (мини- и микро-) подводная РТС имеет достаточно узкую специализацию и небольшой набор функциональных возможностей. Несмотря на эти ограничения, связанные в первую очередь с габаритными характеристиками по-

добных систем, рассматриваются варианты их применения при решении широкого круга задач. Эффективность малых подводных РТС может возрасти при использовании их группировок в комплексе с судами-носителями: кораблями, подводными лодками и аппаратами. Подобный подход дает возможность распределять функции между роботами. Это означает, что каждый отдельный робот способен выполнять простые задачи, а в комплексе с другими подводными РТС – более сложные. В результате группировка из нескольких малых подводных РТС будет более эффективно выполнять задачи, решаемые в настоящее время традиционными подводными техническими системами. Перспективными являются подводные комплексы, в которых применяются суда-носители (СН) совместно с АНПА, мини- и микро- группировками роботов. При таком использовании РТС эффективность выполнения подводных операций будет зависеть от целого ряда параметров, определяемых количеством и качеством задействованных ТС, а также спецификой задач и влиянием внешних условий. Основными характеристиками комплекса РТС – СН, которые существенно влияют на ход и результат выполнения операции являются:

- надежность комплекса РТС-СН;
- состав поисковой аппаратуры, различной по принципу обнаружения;
- скорость РТС при поиске;
- диапазон глубин погружения РТС;
- точность определения координат цели;
- точность удержания своего места в районе дислокации;
- подводная автономность РТС;

- скрытность (физические поля);
- универсальность РТС при выполнении широкого круга задач, различных по своему характеру.

Выявление технического уровня и тенденций развития подводных РТС на основе анализа источников научно-технической информации, а также результаты систематизации и обобщения данных о состоянии мирового рынка современных подводных РТС позволили сформировать базу данных тактико-технических характеристик современных и перспективных подводных РТС (табл. 2). Рассмотренные вопросы, касающиеся применения современных подводных аппаратов-роботов в сложных условиях функционирования и обзор перспективных направлений развития подводной робототехники, позволяют говорить о том, что подводные РТС характеризуется высокой востребованностью для решения военных и гражданских задач. Таким образом, развитие перспективных подводных РТС способно оказать существенное влияние на многие области деятельности человека как в сфере добычи полезных ископаемых, научных исследований, так и при решении специальных задач. **МБ**

#### Литература

1. <http://www.bellona.ru>
2. Intern. Ocean Systems. 2001. Jan./Febr.
3. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др. Автономные подводные роботы: системы и технологии. Москва. Наука. 2005
4. Зарубежное военное обозрение. 2003. №5
5. Иконников И.Б. Самоходные необитаемые подводные аппараты // Серия «Техника освоения океана». Судостроение, 1986

## Самый большой корабль в мире снесет нефтяные платформы

**Швейцарская промышленная группа Allseas начала работу над крупнейшим кораблем в мире, сообщает The Sunday Telegraph. "Питер Схелте", проектируемый как два супертанкера, соединенные в виде катамарана, займется удалением нефтяных платформ в глубоководных районах. Заказ на постройку корабля будет сделан на одной из корейских или китайских судостроительных верфей.**

Длина этого судна составит 370 метров, ширина – 170 метров, а максимальный объем принимаемого груза – 840 тысяч тонн. Стоимость постройки гиганта оценивается в сумму более миллиарда фунтов стерлингов (около двух миллиардов долларов). Корабль сможет развивать скорость до 12 узлов.



Принцип работы катамарана прост: сначала он срезает верхнюю часть платформы, а затем, при помощи специальных устройств, выдергивает ее опоры.

Концепция корабля впервые появилась еще 20 лет назад, в связи с начавшимся истощением нефтяных полей шельфа Северного моря. Сейчас эксперты отмечают, что постройка корабля начинается как никогда вовремя, а рынок удаления отработавших свое нефтедобывающих платформ будет огромным. С 2012 на 2025 год на эти цели будет потрачено от 12 до 14 миллиардов фунтов. **МБ**

Лента. Ру

[www.lenta.ru](http://www.lenta.ru)

Фото © Photos.com/Cube

## Allseas to build world's biggest ship

By Sylvia Pfeifer

A Swiss-based shipping group has begun work on what will be the biggest ship ever built.

The Pieter Schelte, envisaged as two supertankers joined in a catamaran design, will be used to decommission oil platforms in deep-water areas.

It is the brainchild of Edward Heerema, the president of Allseas, the shipping and engineering group. The ship will be designed so that it can come alongside an oil platform, slice off the top half and then turn around and pull up the legs from the seabed.

Industry sources estimate that the ship will cost more than £1bn to build. The current design is for the ship to be 1,200ft long and 400ft wide - making it larger than the world's biggest oil tanker. It will displace 840,000 tonnes, making it the world's biggest ship. It will have a lift capacity of 48,000 tonnes for topsides and 25,000 tonnes for jackets or legs. It will travel at a speed of 12 knots.

Babcock, the support services group, is doing the basic design of the ship. Allseas is already in talks with shipyards in China and Korea to build the vessel.

The company began conceptual studies of the vessel more than 20 years ago when the decline of North Sea energy fields still seemed some way off. Its original plan involved joining together the hulls of two existing tankers.

Oil industry experts believe that with operating and environmental costs now rendering some of the older installations a liability, the timing of the mammoth project is now right.

"There is no market for this right now. But the market is expected to be huge," said one industry executive. It is estimated £12bn to £14bn will be spent decommissioning platforms in the North Sea between 2012 and 2025, he added. **МБ**

Allseas hopes to be able to take delivery of the ship in 2010.

The Sunday Telegraph

[www.telegraph.co.uk](http://www.telegraph.co.uk)