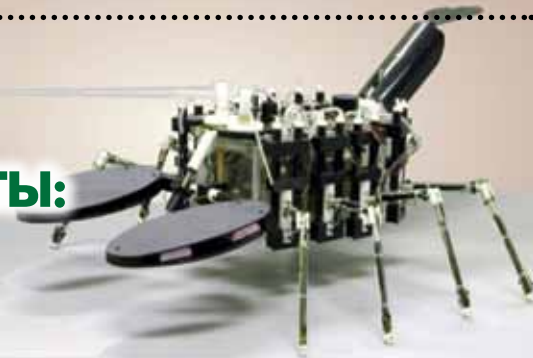


## НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ: СОСТОЯНИЕ И ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ\*



Мы продолжаем рассказ о состоянии и тенденциях развития необитаемых подводных аппаратов. Во второй части статьи речь пойдет о автономных подводных микроаппаратах – одном из наиболее перспективных направлений развития современной микроробототехники. Надо лишний раз подчеркивать, что развитие этого направления в огромной степени определяется достижениями современных электронных технологий. С другой стороны, подводные микроаппараты формируют новый рынок для изделий электроники, стимулируя их дальнейшее развитие.

### ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ АПМА И МИКРОРОБОТОВ

В зарубежных публикациях автономные подводные микроаппараты называют micro-UUV (micro Unmanned Underwater Vehicle – необитаемый подводный микроаппарат). Позднее появился термин micro-AUV (автономный подводный микроаппарат, АПМА). Наибольшая активность исследований и разработок (по числу патентов и публикаций в научно-технической литературе) в области создания АПМА наблюдается в США (мировой лидер), Японии, Сингапуре, Канаде и Исландии.

Мировыми лидерами в разработках АПМА и микророботов выступают следующие научно-исследовательские организации и университеты: Nekton Research LLC (в конце 2008 года приобретена компанией iRobot), Marine Science Center of Northeastern University, Massachusetts Institute of Technology (MIT Dept. of Ocean Engineering), DUKE & NC State University Team, iRobot, Office Naval Research (ONR) (ВМС – США); Modular robotic & Robot locomotion Group, School of MPE, NTU (Сингапур); Mobile Robotics Lab at McGill University, компании Inuktun и Hyland Underwater Vehicles (все – Канада); Essex University (Великобритания), Osaka University и Shinshu University (Япония).

Пока в эксплуатации находится незначительное число типов ПМА. Преимущественно это разработки компаний Nekton Research LLC, iRobot (США) и Inuktun (Канада). Наиболее известные их проекты:

- АНПА Ranger (Nekton Research LLC);
- TransPhibian (совместная разработка Nekton Research LLC и Отдела научных исследований ВМС США). В конструкции

\* Продолжение. Начало см. ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2009, №7, с.62–69.

Л.Бочаров, к.т.н.  
ИПИ РАЕН

использованы бионические принципы, прототип – проект Madeleine компании Nekton Research LLC) и

- робот Sea Talon (Surf Zone Crawler), разработан компанией Foster Miller. Ползающий аппарат, модификация наземного робота Talon (более ранняя модель – LEMMING).

Всего же за рубежом насчитывается 37–40 проектов АПМА, как правило, не являющихся коммерчески доступными (табл.2, рис.16).

Среди самых миниатюрных подводных аппаратов можно выделить серию конструктивно масштабируемых АПМА MicroHunter (рис.17). Ее в 1999–2002 годы по заказу Управления перспективных исследований и разработок Министерства обороны США (DARPA) разработало научное подразделение компании Nekton Research LLC совместно с университетом Дьюка (США). Микроаппараты длиной 5–20 см предназначены для отработки концепций применения группировок из миниатюрных подводных роботов для обнаружения целей, целеуказания и наведения торпедного оружия, а также мониторинга свойств водной среды (измерение температуры, солености и т.д.).

Один из действующих макетов, предназначенных для обзорно-поисковых работ, имеет длину 20 см, диаметр корпуса ~5 см, глубину погружения до 100 м и развивает скорость до 2 узлов. В состав системы энергообеспечения входит аккумуляторная батарея типа AA, обеспечивающая автономность плавания в пределах 3 часов, что соответствует дальности хода до 10 км. Самый миниатюрный аппарат серии MicroHunter с дальностью действия порядка 30 км имеет длину всего 5 см и массу около 5 г. В своих разработках Nekton Research LLC применила ряд оригинальных конструкторских решений, обеспечивших высокую маневренность MicroHunter. Кроме того, встроенные в них системы управления позволяют эффективно применять достаточно большую группировку MicroHunter (более 30 микроаппаратов) для решения задач сбора трехмерной информации о подводных объектах.

### АПМА НА БИОНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ

Существенная часть проектов перспективных АПМА разрабатывается на основе бионических подходов (см. врезку). Боль-

**Таблица 2. Характеристики зарубежных микроАНПА**

АНПА	Разработчик/ судостроитель	Страна	Тип несущей конструкции корпуса	Максимальная рабочая глубина, м	Габариты(Д×Ш (д-диаметр) ×В), м	Масса аппарата, кг	Скорость хода, узлов	Дальность хода, морских миль	Продолжительность автономного плавания, ч
Serafina	Canberra's Australian National University	Австралия	Т	5000	0,21×0,10×0,14				10
MT1	Essex University	Великобритания	Б (плав)	10	0,48×0,215×0,15	3,55			
AQUA	Mobile Robotics Lab at McGill University	Канада	Б (плав)	10–15		20			
Micro MaG Crawler (с гидроакустическим каналом управления)	Inuktun Services Ltd	Канада	С (полз)	<2	0,203×0,165×0,06	4,5			
MicroSeeker	Hyland Underwater Vehicles	Канада	Т			<5			
АМОЕВОТ	Modular robotic & Robot locomotion Group, School of MPE, NTU	Сингапур	Б (плав)						
ROBO-EEL			Б (плав)						
ROBOGLIDER			Б (плав)						
Underwater walking robot			Б (полз)						
Ariel I и II	iRobot Corp	США	Б (полз)	8–10 (45)	0,55(1,15)×0,09(0,15) ×?	11			
DART	iRobot Corp		Б (плав)	10–20		<15			
Dongle	Cal-Tech		Б (плав)	< 3	0,6×0,4 (с рулями) ×0,25	2,3	0,1		
EMATT (Mk 39 учебная цель)	Sippican Inc		Т	50	0,915×0,124 (д)	10			
Gamera	DUKE & NC State University Team	Б (плав)	<10		5–6				
MicroHunter	Nekton Research LLC**		Т	< 100	18–35 (длина)	0,07	2	>16	
Pipe Inspection Camera (PIC-1)	JW Fishers Inc		типа ROV		0,71×0,2 (д)		1,2		
Ranger	Nekton Research LLC		Т	<100	0,91×0,09 (д)	4,5	2–4	10	4
Robo Lobster	Marine Science Center of Northeastern University и Massa Products Corporation		Б (полз)	600		13			
Robopike (Wanda)	MIT's Dept. of Ocean Engineering		Б (плав)	10–20	0,81×0,1×0,15	3			
Robotune	MIT's Dept. of Ocean Engineering		Б (плав)						
Sea Talon	ONR, NAVSEA, DARPA и Foster-Miller		С (полз)	0,5–1 0	0,6×0,51×0,17	<20	1–3	10	
Transphibian (на базе Madeleine)	ONR и Nekton Research LLC		Б (плав-ползущий)	100	0,6×0,3×0,15	20–22	1,5		0,75–1,25
Undulatory Robot	Marine Science Center of Northeastern University		Б (плав)			<20			
USNA-1	Systems Engineering Department USNA		Т	100	0,61×0,089	2,5–2,7			
Water Buffalo	University of Colorado at Denver								
Madeleine	Nekton Research LLC		Б (плав - полз)	100	0,6×0,3×0,15	20	1,5		0,75–1,25
Underwater robot (США-Япония)	ONR (США) и Osaka University, Shinshu University (Япония)	США-Япония	Т	100–200	1,36×0,12	14,5			
RoboFish	MHI	Япония	Б (плав)	<10	0,5 (длина)	2,5			0,5

\* Условные обозначения: Т – торпедообразная форма (в т.ч. с улучшенной гидродинамикой); П – плоская форма несущей конструкции; С (полз) – самоходный (гусеничный) аппарат; Б (плав) – бионическая форма аппарата плавающего типа; Б (полз) – бионическая форма аппарата ползающего типа. \*\*С 2008 года приобретена компанией iRobot.

шой объем научных исследований по созданию миниатюрных подводных роботов проводится в рамках американской комплексной программы "Подводные роботы на биомимикрических принципах" (Biomimetic Underwater Robot). Руководит этой программой Центр морских наук (Marine Science Center) Северо-восточного университета (Бостон) по заказу DARPA (в лице ее отдела оборонных наук DSO) и Отдела научных исследований ВМС США (ONR). Основная цель программы – созда-

ние полностью автономных подводных роботов, имитирующих принципы движения морских биологических объектов. Ожидается, что полученные результаты найдут широкое применение при решении различного рода задач, например: обнаружение донных (в том числе и заиленных) мин на мелководье; проведение осмотрово-инспекционных работ; сбор информации с автономных донных станций; освещение подводной обстановки; поддержка аварийно-спасательных и обзорно-поисковых













<p><b>"Ariel I" и "Ariel II"</b> (iRobot Corp, США)</p> <p>Длина – 0,55/1,15 м Ширина – 0,09/0,15 м Глубина – 8–10/45 м Масса – 11 кг</p> 	<p><b>"MicroHunter"</b> (Nekton Research LLC, США)</p> <p>Масса ~70 г Глубина &lt;100 м</p> 	<p><b>"Ranger"</b> (Nekton Research LLC, США)</p> <p>Длина – 0,91 м Диаметр – 0,09 м Масса – 4,5 кг Глубина &lt;100 м</p> 	<p><b>"RoboFich"</b> (Mitsubishi Heavy Industries, Япония)</p> <p>Длина – 0,5 м Масса – 2,5 кг Глубина &lt;10 м</p> 
<p><b>"USNA-1"</b> (Systems Engineering Department USNA, США)</p> <p>Длина – 0,61 м Диаметр – 0,089 м Масса – 2,5–2,7 кг Глубина – 100 м</p> 	<p><b>"Dongle"</b> (Systems Engineering Department USNA, США)</p> <p>Длина – 0,61 м Ширина – 0,089 м Высота – 0,25 м Масса – 2,7 кг</p> 	<p><b>"Robo-EEL"</b> (Modular robotic &amp; Robot locomotion Group, School of MPE, NTU)</p> 	
<p><b>"RoboTune II"</b> (MIT's Dept. of Ocean Engineering, США)</p> 	<p><b>"AQUA"</b> (Mobile Robotics Lab at McGill University, Канада)</p> <p>Масса – 20 кг Глубина – 15 м</p> 	<p><b>"Robo-Lobster"</b> (Marine Science Center of Northeastern University и Massa Products Corporation, США)</p> <p>Масса – 13 кг Глубина – 600 м</p> 	<p><b>"EMATT"</b> (Sippican Inc, США)</p> <p>Длина – 0,915 м Диаметр – 0,124 м Масса – 10 кг Глубина – 50 м</p> 
<p><b>"RoboPike (Wanda)"</b> (MIT's Dept. of Ocean Engineering, США)</p> <p>Длина – 0,81 м Высота – 0,15 м Масса – 3 кг Глубина – 10–20 м</p> 	<p><b>"DART"</b> (iRobot Corp, США)</p> <p>Масса &lt;15 кг Глубина – 10–20 м</p> 	<p><b>"АМОЕВОТ"</b> (Modular robotic &amp; Robot locomotion Group, School of MPE, NTU)</p> 	<p><b>"PIC-1 AUV Pipe Inspection Camera"</b> (JW Fishers)</p> <p>Длина – 0,71 м Диаметр – 0,2 м</p> 
<p><b>"Micro MaG Crawler"</b> (Inukton, Канада)</p> <p>Длина – 0,203 м Ширина – 0,165 м Высота – 0,06 м Масса – 4,5 кг Глубина &lt;2 м</p> 	<p><b>"RoboGlider"</b> (Modular robotic &amp; Robot locomotion Group, School of MPE, NTU)</p> 	<p><b>"Underwater robot"</b> (ONR (США) и Osaka University, Shinshu University (Япония))</p> <p>Длина – 0,6 м Ширина – 0,12 м Масса – 14,5 кг Глубина – 100–200 м</p> 	
<p><b>"Underwater walking robot"</b> (Modular robotic &amp; Robot locomotion Group, School of MPE, NTU)</p> 	<p><b>"MicroSeeker"</b> (Hyland Underwater Vehicules, Канада)</p> <p>Масса &lt;5 кг</p> 	<p><b>"Gamera"</b> (DUKE &amp; NC State University Team, США)</p> <p>Масса – 5–6 кг Глубина &lt;10 м</p> 	<p><b>"SurfZone Crawler"</b> (Tactically Adaptable Crawler) (ONR, NAVSEA, DARPA и Foster-Miller, США)</p> 
<p><b>"Undulatory Lamprey-like Robot"</b> (Marine Science Center of Northeastern University, США)</p> <p>Масса &lt;20 кг</p> 			

Рис.16. Проекты автономных подводных микроаппаратов и микророботов



работ; организация гидроакустической связи с подводными лодками и другими подводными техническими средствами.

В ходе реализации программы Biomimetic Underwater Robot были разработаны макетные образцы миниатюрных подводных роботов "Робот-лобстер" (Lobster Robot) и "Робот-минога" (Undulatory Robot) (рис.18). Эти разработки проводились при финансовой поддержке DARPA (Отдел оборонных наук) и ONR.

В другой научно-исследовательской организации США – лаборатории Дрейпера (Draper Laboratory) интенсивно ведутся исследования по созданию обитаемых подводных аппаратов повышенной маневренности. Предполагается, что на



**Рис.17. Макетные образцы подводных микроаппаратов серии MicroHunter**

основе технической имитации движения рыб будут созданы подводные аппараты, обладающие малым радиусом разворота, существенно сокращенным временем разгона и тормо-

### Автономный подводный робот-рыба (проект Laboratory Draper, США)



Скорость движения ~4,5 км/ч  
Масса в воздухе ~135-140 кг  
Длина - 2,4 м  
Высота - 0,5 м  
Ширина - 0,4 м

Испытания автономного подводного робота-рыбы в бассейне Нью-Гемпширского университета



### Автономные подводные микророботы

(созданы в рамках программы США "Биомимикрические подводные роботы- Biomimetic Underwater Robot Program" при поддержке Управления перспективных исследований и разработок МО США (DAPRA) и Управления научных исследований ВМС США (ONR))

### Робот-лобстер – "Lobster Robot"




### Робот-минога – "A Lamprey - Based Undulatory Robot"



### Подводный робот "Щука-Pike" (проект MIT, при поддержке DARPA и ONR)

Конструкция корпуса





**Рис.18. Автономные подводные роботы на биотических принципах, разработанные в ходе реализации научно-исследовательских программ США**

**Бионика** – одно из направлений биологии и кибернетики, изучающее особенности строения и жизнедеятельности организмов в целях создания более совершенных технических систем или устройств. Как наука зародилась в начале 1960-х годов, а первая конференция по бионике в СССР прошла в 1962 году. За рубежом это направление называют биомимикрия (biomimetic). В американских публикациях достаточно часто встречается синонимичное понятие reverse engineering (обратная инженерия). Данное комплексное междисциплинарное направление работ сформировалось на базе результатов синергетических исследова-

ний. К числу его основных задач относится разработка новых материалов, процессов, технических устройств на основе принципов биологической имитации. Изучение биологических систем на различных уровнях (от организмов млекопитающих до насекомых) представляет особый интерес с точки зрения технической имитации их способностей видеть (в том числе ночью), чутко слышать, различать запахи, ощущать вкус и ориентироваться в сложных условиях. Высокая практическая значимость ожидаемых результатов этих исследований позволили США определить в 1995–1996 годы это направление как приоритетное.



Рис.19. АПМА МТ1

жения (см. рис.18). Робот-рыба имеет массу 130–150 кг, длину ~2,4 м и может развивать скорость до 5 км/ч. В ходе многочисленных испытаний в закрытом бассейне Нью-Гемпширского университета и в открытых акваториях была отработана гибкая конструкция корпуса подводного робота, а также уточнены алгоритмы управления его движением.

В Массачусетском технологическом институте создан подводный "робот-щука" (Pike) длиной 0,7–0,8 м, способный развивать скорость до 5–6 м/с. Он является следующим этапом развития экспериментального подводного робота Туна (тунец), разработанного в этом же институте еще в 1994 году.

Другой пример АПМА бионического типа – робот-рыба МТ1 (рис.19), созданный в Essex University (Великобритания). Масса этого миниатюрного аппарата – 3,55 кг, длина – 48 см (включая хвостовой плавник длиной 12 см), ширина – 21,5 см (включая два грудных плавника по 8 см каждый), высота 15 см. Робот МТ1 обладает нейтральной плавучестью. В его базовую конструкцию входят (рис.20):

- прочный корпус, внутри которого размещены электронные устройства (блок управления, процессор, навигационные датчики, блок беспроводной связи и устройство хранения информации);

- движительно-рулевой комплекс, включающий два миниатюрных электродвигателя (основной – для управления хвостовым плавником и вспомогательный – для управления грудными плавниками), блок управления двигателями, приводы (гибкие пластиковые пластины, металлические валы и рычаги) и три плавника (один хвостовой и два грудных);
- элементы плавучести;
- система энергообеспечения на основе элементов питания типа АА;
- навигационный комплекс, состоящий из датчика глубины (использован датчик давления 40PC015 компании Honeywell), инклинометра (на базе акселерометра ADXL202 компании Analog Devices), датчика курса (электронный компас CMPS03 компании TotalRobots);
- система технического зрения (обнаружения препятствий), созданная на основе двух ИК-датчиков компании TotalRobots;
- беспроводной модем (с антенной) стандарта IEEE 802.11g.

Для установки/смены программного задания и получения данных от датчиков ПМА используется портативный компьютер с модулем беспроводной связи.

МТ1 способен самостоятельно ориентироваться и передвигаться в подводном пространстве на глубине до 10 м, имитируя при этом способы движения различных видов рыб. При отработке алгоритмов движения микроаппарата широко использовались технологии искусственного интеллекта и нейросетевые методы самообучения.

В целом, можно предположить, что массовое производство АМПА начнется после 2010 года. При этом первоначально будут создаваться микроаппараты одноразового применения (невозвращаемые) стоимостью менее 500–1000 долл. США.

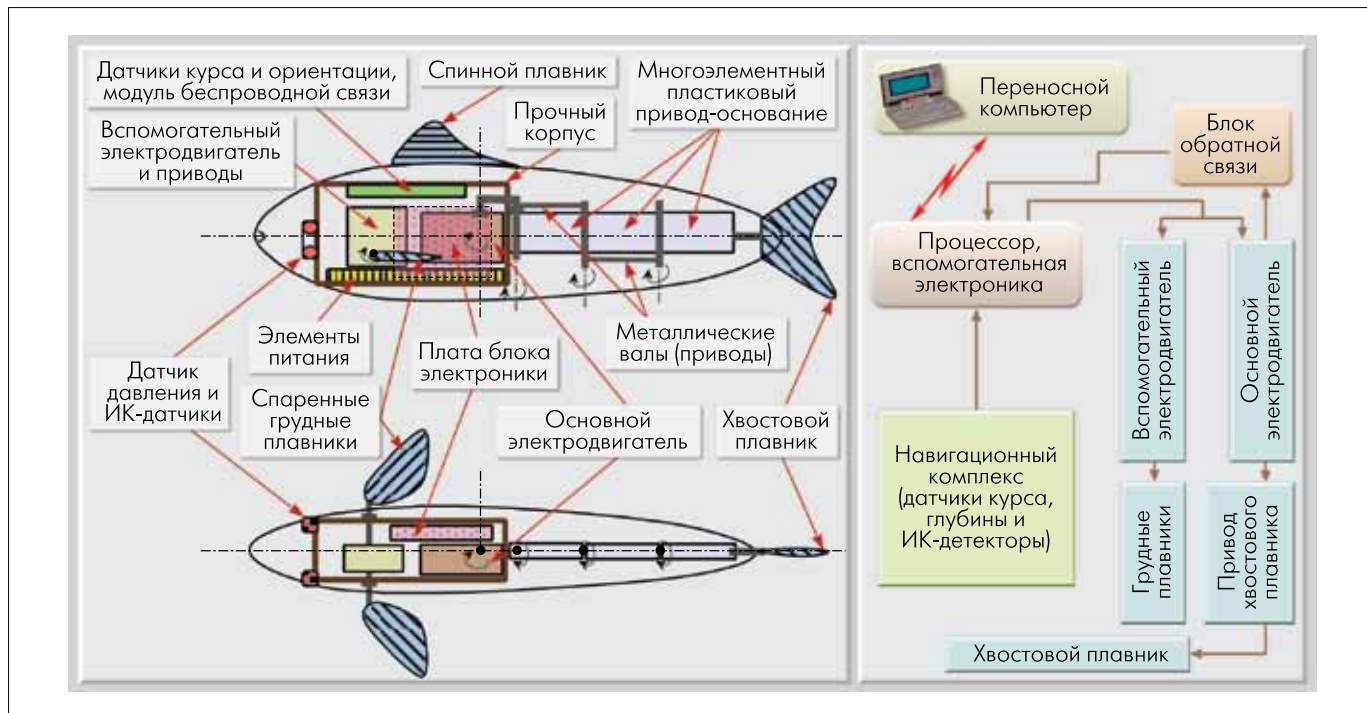


Рис.20. Основные элементы конструкции ПМА МТ1



## ПОДВОДНЫЕ ПЛАНЕРЫ

В последнее время наблюдается повышенный интерес к разработкам и использованию подводных аппаратов, обладающих сверхбольшой (от недель до года) продолжительностью автономного плавания. Такие подводные средства уже хорошо зарекомендовали себя при решении исследовательских океанографических задач, связанных с широкомасштабными измерениями параметров среды в водной толще и вблизи дна. Из-за особенностей конструкции они объединяются в один класс АНПА, именуемых подводными планерами (gliders). К этому классу относятся аппараты, которые перемещаются в водном пространстве по наклонным траекториям за счет изменения их остаточной плавучести. Такие АНПА-планеры являются дальнейшим эволюционным развитием приотпленных дрейфующих буев типа ALACE, MARVOR, PROVOR, APEX и SOLO. В мире уже создано 5–6 функционально завершенных проектов подводных планеров: проекты США Sea Glider, Spray Glider, XRay Glider, Slocum-E и Slocum-T и французский проект Sterne (ранее – Glisserius). Отметим, что в АНПА проекта Slocum-E энергообеспечение главного исполнительного устройства системы изменения остаточной плавучести осуществляется на основе химических источников тока,

а в Slocum-T – при помощи устройства преобразования тепловой энергии океана (изменения температуры воды) в механическую энергию, запаасаемую в аккумуляторе давления.

Основные отличительные особенности подводных планеров – сверхбольшая дальность хода (>1,5 тыс. км) и "рекордная" автономность (от недель до года); малые массогабаритные характеристики (масса 50–120 кг, длина ~2 м), низкая стоимость производства и эксплуатации аппаратов, обеспечивающая, в том числе, их эффективное групповое применение, простота процедур сбора измерительной информации и корректировки программного задания, определяемая возможностями современных телекоммуникационных технологий.

Необитаемые подводные аппараты являются сегодня одним из перспективных направлений развития робототехники. Как системная область, данное направление неразрывно связано с развитием микроэлектронных (включая микро-системные) технологий. И если не обратить на него самое серьезное внимание, отставание может привести к катастрофическим последствиям – как экономического, так и оборонного плана. ○



### Европейский исследовательский проект "BioP@ss" по повышению безопасности чип-карт и созданию общеевропейских электронных идентификационных карт

Поставщики микросхем Infineon Technologies и NXP Semiconductors (NXP), а также производитель чип-карт компания Giesecke & Devrient (G&D) вошли в состав 11 компаний из шести стран Европейского Союза, которые будут участвовать в крупнейшем в Европе исследовательском проекте BioP@ss. Цель проекта – разработка устройств со встроенной микросхемой, необходимых для действительных во всех странах ЕС электронных идентификационных карт (ID-карт). Помимо идентификации, эти карты будут выполнять функцию безопасного средства аутентификации услуг, предоставляемых правительствами или общественными организациями. Держатели карт BioP@ss смогут электронным образом подтвердить свою личность и проводить биометрическую аутентификацию в сети Интернет.

Бюджет проекта BioP@ss, завершение которого планируется на конец июня 2011 года, составляет около 13 млн. евро. Половина этих средств предоставлена бизнес- и отраслевыми участниками проекта, вторая половина – национальными правительствами через европейские фонды кластеров EUREKA CATRENE/MEDEA+. В рамках стратегии развития высоких технологий Федерального Правительства Германии и инвестиционной программы "Informations- und Kommunikationstechnologie 2020 (IKT 2020)" Министерство

образования и исследований Германии (BMBF) ассигновало на проведение проекта BioP@ss 2,8 млн. евро.

Проект BioP@ss призван стимулировать дальнейшую разработку микросхем с высокой степенью защиты, операционных систем для смарт-карт и защищенного программного обеспечения для подключенных к сети Интернет персональных компьютеров, которыми пользуются как обычные граждане, так и общественные организации. В задачи проекта также входит поддержка разнообразных стандартов, используемых в национальных идентификационных документах, уже действующих в странах ЕС. В рамках проекта BioP@ss компании Infineon и NXP работают над усовершенствованием технологии шифрования микросхем. Другое направление работ – повышение скорости обмена данными между картой и считывателем. В задачи компании G&D входит разработка инновационной операционной системы, которая с помощью протоколов TCP/IP, HTTP, TLS и SOAP позволит использовать чип-карты с Интернет-ПК без дополнительных программных средств. Соединение карты и ПК может устанавливаться как бесконтактным способом, так и через USB-интерфейс.

Более подробную информацию об исследовательском проекте BioP@ss и его партнерах можно получить на сайте [www.biopass.eu](http://www.biopass.eu).