

**С. Ф. Сергеев**, д-р психол. наук, проф., s.f.sergeev@spbu.ru,  
Санкт-Петербургский государственный университет

## Нейроадаптивные биоморфные интерфейсы в эргатических системах: проблемы и решения\*

*Рассматриваются проблемы создания гибридных биоморфных нейроадаптивных интерфейсов, включающих искусственные сенсорные модальности, обеспечивающие эффективное взаимодействие оператора с управляемыми мехатронными системами.*

**Ключевые слова:** адаптация, биоморфный интерфейс, информационно-коммуникационные технологии, межсистемная интеграция, симбиоз

### Введение

Проблема создания интерфейса входит в круг основных задач при построении эффективных человеко-машинных систем [1] и определении степени включения человека в интерактивные взаимодействия с управляемой системой и средой в процессе достижения субъективно понятого результата достижения цели.

Особенно важную роль играют точки и границы контакта человека с искусственным миром, обеспечивающие включение и погружение в его содержание, дающие возможность эффективного и безопасного взаимодействия с ним.

Интерфейс в широком смысле — это определенная стандартами, правилами взаимодействия граница между взаимодействующими функционально-независимыми системными объектами. Интерфейс задает параметры, процедуры и характеристики взаимодействия. В системном подходе это понятие отражает формы, средства и возможности обеспечения взаимодействия двух или более систем (их компонентов) между собой независимо от их физической или ментальной природы в процессе достижения общих целей [2].

Интерфейс является в настоящее время чрезвычайно популярным и широко распространенным в научно-практическом дискурсе междисциплинарным понятием, служащим для объяснения межсистемных объединений и проектирования систем и механизмов, обеспечивающих селективные неразрушающие связи в объектах живой и неживой природы. Наблюдается его экспансия в область информационных технологий, инженерной психологии и эргономики, где наибольшее распространение получили термины "пользовательский ин-

терфейс" и "человеко-машинный интерфейс" [3]. Однако проблема интерфейса в эргатических системах, несмотря на известные успехи и достижения в области инженерного проектирования, еще далека от окончательного решения в силу появления и развития технологий, позволяющих повысить степень управляемости параметрами эргатической системы. Кроме того, внедрение технологий искусственного интеллекта и поддержки оператора ведет к новым формам сетевой и технобиотической интеграции человека с искусственным миром.

### Современное состояние проблемы транссистемной интерфейсной интеграции в эргатических системах

Основной задачей при проектировании интерфейса является достижение прозрачности процедуры управления, механизмы осуществления которой для субъекта должны быть невидимыми. Это позволяет создать иллюзию непосредственности, естественности, открытости, понятности, прозрачности интерфейсной связи. Эволюция в сфере межсистемной интеграции человека с техническими системами и средами порождает новые формы интерфейсов, которые позволяют осуществить эффективную интеграцию человека с эргатической системой (см. таблицу).

Традиционное понимание проблемы интерфейса связано с обеспечением физического контакта оператора с органами управления, которые определяют характер и форму возможного воздействия на объект управления и организацию обратной связи по результатам. Данная парадигма реализована в инженерных решениях органов управления (механических интерфейсах). Граница взаимодействия в данном случае возникает только в момент существования механической связи с телом оператора (перемещения органов управления, касания кнопок и активных зон). В такой схеме используются в основном неинвазивные методы связи че-

\* Работа выполнена при поддержке РГНФ, проект № 15-06-10640, РФФИ, проект № 16-08-00313.

**Классификация эргатических и акторных интерфейсных сред по степени межсистемной интеграции**

| Тип интерфейса (интерфейсной среды)             | Объект управления                                  | Базовые технологии проектирования                                  | Степень интеграции пользователя с рабочей средой              | Форма управления. Тип контакта со средой              |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Механический со зрительной обратной связью (ОС) | Управляемый физический объект в среде деятельности | Механические, электро-механические и пневмо-гидравлические системы | На уровне физических взаимодействий с органами управления     | Сенсомоторные и моторные действия. Физический контакт |
| Механический с ОС через информационную модель   | Информационная модель управляемого объекта         | Электромеханические и пневмогидравлические системы                 | На уровне выполнения алгоритма работы на рабочем месте        | Физический, с информационной моделью                  |
| Компьютерный пользовательский                   | Реальные и виртуальные объекты                     | Компьютерные технологии, мехатроника                               | На когнитивном уровне с виртуальными объектами                | Ввод данных с помощью манипуляторов                   |
| Виртуальный                                     | Виртуальная среда и ее элементы                    | Системы виртуальной и смешанной реальности                         | На уровне симбиоза органов чувств с иммерсивной средой        | Через виртуальные представления органов управления    |
| Нейрокомпьютерный, "мозг—компьютер"             | Управляемый объект в среде деятельности            | Анализ состояния активности мозга при формировании команд          | На биофизическом и нейропсихологическом уровнях               | Мысленными командами. Датчики и контакты              |
| Симбиотический                                  | Среды с искусственным интеллектом                  | Компьютерные технологии, искусственный интеллект среды             | Совместная работа с искусственным интеллектом среды           | Коммуникация, вербальная, невербальная                |
| Биоморфный                                      | Мозг, субъективная сфера                           | Интеграция с мозгом искусственных органов чувств                   | Включение искусственных структур в системную организацию тела | Сенсомоторные действия с искусственными модальностями |
| Технобиотический                                | Мозг в искусственном теле                          | Мехатроника, искусственный интеллект и др.                         | Полная, рабочая среда, часть киберорганизма                   | Естественные действия в средах                        |
| Воплощенный в среду искусственный разум         | Искусственный разум на небиологических носителях   | Кибернетика, компьютерные технологии и другие неизвестные нам      | Полная. Актор является организующей частью рабочей среды      | Непосредственное параметрами управляемой среды        |

ловека с интерфейсом, и основная проблема проектирования заключается в обеспечении согласования интерфейса тела человека с интерфейсной частью машины. Решение проблемы проектирования данных интерфейсов находится в области антропометрии и физической макроэргономики [4].

Следующим шагом в разработке интерфейсов явилось появление "умной рабочей среды" обратной связи, обеспечивающей оптимальное понимание рабочей ситуации оператором и формирование зоны соответствующих ситуации управляющих действий. Решение проблем проектирования в этом классе интерфейсов связано с созданием адекватного оперативного образа рабочей ситуации [5—7], с использованием методов юзабилити [8, 9] и технологий виртуальной и гибридной реальности [10, 11].

Дальнейшая эволюция межсистемных отношений человека с управляемой средой связана с появлением пользовательских компьютерных интерфейсов, развитие которых в настоящее время стимулируется массовым использованием компьютерных и сетевых технологий управления. Проектировщиков все более интересует человеческий компонент интерфейсной связи. Наблюдается переход от технологий инженерного проектирования, развитых в рамках проблемы человеко-машинного взаимодействия, к методам юзабилити и "User experience" (UX — учет пользовательского опыта) [8, 9]. Вместе

с тем, ряд авторов (например, И. В. Бурмистров, 2016) отмечают кризисные явления в области проектирования пользовательского интерфейса, связанные с недостаточным учетом человеческого фактора, подменяемого графическим дизайном.

Стремление проектировщиков интерфейсов избавиться от различных форм непосредственной механической связи привело к созданию виртуальных интерфейсов, оперирующих с различными формами искусственной машинно-генерированной реальности, воздействие на которую приводит к изменениям в управляемом объекте [10]. В качестве средств управления используются различные манипуляторы, преобразующие жесты и движения тела человека в управляющие команды. Широко применяются различные технологии смешанной и индуцированной реальности.

В настоящей статье нас интересуют подходы к реализации биоморфных интерфейсов, под которыми понимаются интерфейсы, включенные в физическую связь с мозгом, образующие совместно с ним искусственные органы чувств, формирующие дополнительные модальности или их симбиоз с существующими в субъективном мире субъекта, позволяющие расширить возможности субъекта при управлении эргатической системой. Нужно отметить, что это малоизученная тема, редко обсуждаемая в научном сообществе, хотя принципиальных запретов на создание в будущем подобных уст-

ройств нет. Предтечами данного класса интерфейсов являются нейрокомпьютерные интерфейсы или интерфейсы мозг—компьютер [12, 13].

Интерфейс мозг—компьютер (BCI от англ. brain—computer interface) — нейротехнология, обеспечивающая человеку коммуникацию с внешними электронными и электронно-механическими устройствами без использования мышц и периферических нервов, например, только на основе регистрации электрической активности головного мозга [14, 15]. Успехи данной технологии, несмотря на окружающий ее пиар в средствах массовой информации, довольно скромны. Технология используется в очень ограниченном варианте в реабилитационной медицине и в сфере управления протезами конечностей. Ее развитие сдерживается высокой сложностью и слабой изученностью мозга, отсутствием входов-выходов, инвазивным характером точек контакта с мозгом и нервной системой. Несмотря на это интерес к данной технологии очень высок [16]. Идет поиск нейрофизиологических коррелятов субъективным состояниям и вербальным стимулам. Например, используются методы выделения вызванных потенциалов P300 на задуманный пользователем стимул-сигнал [13], создаются системы классификации электроэнцефалографических сигналов воображаемых движений [17].

Одна из основных проблем при построении интерфейсов мозг—компьютер связана с особенностями принципов системной и функциональной организации мозга, формирующего субъективную модель окружающего мира, и информационно-кибернетических моделей, положенных в основание разрабатываемых программно-аппаратных модулей. Повышение качества человеко-машинного взаимодействия и решение связанных с этим проблем требуют от исследователей применения новых подходов к проектированию и реализации человеко-машинных интерфейсов, учитывающих особый характер системной организации живого и, прежде всего, его самоорганизующийся характер.

### **Особенности адаптации в интерфейсах живых систем**

В последнее время в среде проектировщиков интерфейсных систем заметен интерес к технологиям динамической адаптации и, в первую очередь, к человеко-машинным обучающим системам, тренажерам и интерфейсам [17—23].

При этом в рамках классических инженерно-психологических представлений решаются следующие задачи адаптивного информационного взаимодействия:

- исследование закономерностей стохастической детерминации поведения человека;
- регистрация, качественный и количественный анализы факторов и критериев сложности решения мыслительных и перцептивных задач, выбор оптимальных моделей, методов и средств

адаптации структуры и средств взаимодействия в нормальных и экстремальных условиях;

- разработка физических, математических, биологических и других моделей адаптивного взаимодействия;
- исследование психологических закономерностей протекания мыслительных, мнемических и перцептивных процессов в условиях интенсивного информационного взаимодействия [24].

Под адаптацией в широком смысле понимается приспособление системы к особым условиям среды. Однако схемы адаптации, распространенные в живом мире, отличаются от таковых в технических системах особым активным, целенаправленным характером формирования связей на разных уровнях регуляции поведения, деятельности, состояния [25]. В них реализуются следующие функции:

1) *рецепторная* — организм оценивает состояние внешней среды и собственной границы. Рецептор — система, состоящая из сенсоров, преобразующих определенный вид энергии (раздражитель) в унифицированный сигнал, и механизма изменения порога чувствительности к данному виду энергии;

2) *эффекторная* — изменение границ взаимодействия и воздействие на внешнюю среду. Эффе́ктор — исполнительный элемент (орган) организма, состояние которого изменяется под воздействием управляющего унифицированного сигнала;

3) *коммутиционная* — динамическое распределение унифицированных сигналов, формирование адекватных реакций на изменения среды.

Несмотря на достаточно понятные принципы функционирования адаптивных интерфейсов перцептивных систем их непосредственная техническая реализация сталкивается с нерешенной по настоящее время проблемой интеграции биологических систем с техническими системами. Развитие технологий в рамках NBICS-конвергенции вселяет некоторый оптимизм, что технические компоненты искусственных органов чувств будут созданы в ближайшее десятилетие.

### **Системно-технологические проблемы и решения в области биоморфной нейроадаптивной интеграции**

Более серьезная проблема в создании систем человеко-машинной интеграции связана с имплантированием интерфейса в системные контуры мозга и формированием в субъективной реальности человека опыта новой модальности. Эта задача является основной причиной неудач в области системной интеграции. Живой организм не терпит вмешательства в его функционирование, особенно на уровне нервной системы и психической регуляции.

По современным нейробиологическим представлениям живые организмы на всех уровнях их функционирования представляют собой аутопоэтические системы, существующие в виде сетевых паттернов самоорганизации [26, 27]. В них реализуются рекурсивные, циклически повторяющиеся процессы

разной качественной природы. Непосредственное вмешательство в работу данных систем приводит к их разрушению, так как нарушается их операциональная замкнутость, обеспечивающая их структурно-функциональное воспроизведение. Следовательно, включение новых сенсорных модальностей, чувствительных к спектрам изменений физической реальности, не должно нарушать работу системных механизмов мозга. Мы не понимаем, как интегрируются в акте восприятия компоненты субъективного образа и порождающие их физиологические структуры.

В качестве перспективной идеи для создания модели работы мозга, позволяющей создать инструменты влияния на субъективную реальность, является идея повторного входа (Re-Entry), идущая от работ Хайнца фон Ферстера и его ученика Умберто Матураны, развитая в трудах Джеральда Эдельмана [28]. По мнению Эдельмана, в основе возникновения субъективных феноменов лежит один и тот же механизм повторного входа возбуждения в те же нейронные группы после дополнительной обработки информации в других группах или поступления сигналов из внешней среды. Имеются подтверждения работоспособности данной идеи в нейрофизиологии в исследованиях А. М. Иваницкого [29]. Видимо, фундаментальным принципом самоорганизации в живых организмах, порождающим психические явления, является возврат возбуждения к местам первоначальных проекций, чем обеспечивается информационный синтез опыта субъекта со вновь поступающей информацией. Эта операция определяет содержание сознания как постоянно корректируемый личный опыт и разворачивающийся во времени процесс порождения внутреннего "Я".

В случае отсутствия возможности включения искусственного органа чувств в цикл повторного входа в субъективную реальность человека не возникает условий для формирования новой модальности чувственного опыта.

Таким образом, в основе сознания лежит идея непрерывного обновления в процессе циклического самовоспроизведения. Физиологические механизмы мозга создают условия для возникновения циклических процессов движения информационных потоков, а их взаимодействия ведут к появлению субъективной реальности [21].

Основные технологические проблемы создания инвазивных точек контакта интерфейсных элементов с мозгом связаны с биологической совместимостью. Показано, что при использовании многоэлектродных матриц электроды последних постепенно зарастают соединительными тканями, что приводит к ухудшению электрического контакта с мозгом, с полным нарушением впоследствии [30]. Вторая проблема — возможность инфицирования в точке контакта. И третья проблема связана с этическими проблемами, возникающими при операциях на открытом мозге.

Несмотря на успехи инженерии следует признать ее достаточно серьезную ограниченность при создании сложных систем. Вместе с тем, существуют варианты создания дополнительных органов чувств методами генной инженерии и биологии. Например, показана роль гена *Rax-6* (окулоромбин) в развитии органов зрения. Манипуляция этим геном позволяет в эксперименте вырастить дополнительные глаза у лягушки и мухи дрозофилы [31]. Известны исследования дизайнера живых организмов в природе [32], что может, по нашему мнению, стать основой для развития новых направлений в эргономике, объединяющих достижения нейронауки, генетики и высоких технологий. Вместе с тем, многое из рассматриваемой проблемы требует дополнительного научного исследования. Прежде всего, неясно, может ли формироваться в мозге дополнительное сенсорное поле при создании дополнительных органов чувств у взрослого человека, или это возможно только в растущем организме? Неясно, какие формы субъективной реальности при этом возникнут. В живой природе известны необычные формы субъективной реальности. Например, дельфин видит одновременно в световом и ультразвуковом диапазонах, а полушария его мозга, работая попеременно, позволяют ему быть в постоянном состоянии бодрствования [33]. Кроме того, дельфины способны чувствовать магнитное поле Земли и используют его для ориентации в пространстве. Мы можем только догадываться о форме и свойствах субъективной реальности дельфина, объединяющей столь разную информацию, получаемую со столь необычных органов чувств, но она обеспечивает его эффективное существование и выживание.

Появление биоморфных интерфейсов ставит проблему симбиотической интеграции искусственных миров и сред [34—38] с новыми формами человеческой чувственности. Данная проблема в настоящее время не решена. Имеются лишь отдельные факты, свидетельствующие о возможных серьезных изменениях во всех сферах психики человека, включая личностный уровень, при попытках его интеграции в искусственные миры виртуальной и сетевой реальности.

В завершение нашего исследования отметим, что эволюция в области интеграции человека с искусственной средой может привести к появлению воплощенного в среду искусственного разума, выходящего за пределы человеческого тела, организованного на небиологических носителях. Однако заметим, что эта проблема находится на границе научного знания и интересна лишь для анализа философских проблем, возникающих в крайних границах интеграции человека и техники.

### Заключение

Разработка биоморфных нейроадаптивных интерфейсов является актуальным и перспективным научно-техническим направлением в создании ин-

терфейсных форм, расширяющих перцептивные возможности человека при работе в сложных техногенных средах. Появляются новые возможности по созданию искусственных органов чувств и перцептивных систем человека, дающие возможность сформировать у человека новые более эффективные или дополняющие существующие формы субъективной реальности, обогащающие мир человеческого опыта. Интеграция новых биоморфных форм интерфейса у человека с эргатическими системами и средами позволит получить новые свойства возникающих гибридных человеко-машинных систем и сред.

#### Список литературы

1. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Интеллектуальная поддержка человека-оператора в эргатических системах управления // Труды Второй Междунар. науч.-практ. конф. "Человеческий фактор в сложных технических системах и средах" (Эрго-2016). СПб.: Межрегион. эргономическая ассоциация, 2016. С. 117—123.
2. **Сергеев С. Ф.** Психологические аспекты проблемы интерфейса в техногенном мире // Психологический журнал. 2014. Т. 35, № 5. С. 88—98.
3. **Сергеев С. Ф., Падерно П. И., Назаренко Н. А.** Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. 108 с.
4. **Вудсон У., Коновер Д.** Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. М.: Мир, 1968. 520 с.
5. **Ошанин Д. А.** Предметное действие и оперативный образ. Воронеж: НПО МОДЭК, 1999. 512 с.
6. **Обознов А. А.** Представление о структуре концептуальной модели в трудах Д. А. Ошанина // Д. А. Ошанин и современная психология: к 100-летию со дня рождения Д. А. Ошанина / Под общ. ред. В. И. Панова и Н. Л. Мориной. М.: Обнинск: ИГ СОЦИН, 2008. 292 с.
7. **Завалова Н. Д., Ломов Б. Ф., Пономаренко В. А.** Образ в системе психической регуляции деятельности. М.: Наука, 1986. 176 с.
8. **Сергеев С. Ф.** Методы тестирования и оптимизации интерфейсов информационных систем: учеб. пособ. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2015. 150 с.
9. **Сергеев С. Ф., Соколов В. Н., Коротеев Г. Л.** Методы юзабилити в тренажерах и обучающих системах. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 132 с.
10. **Сергеев С. Ф.** Обучающие и профессиональные иммерсивные среды. М.: Народное образование, 2009. 432 с.
11. **Сергеев С. Ф.** Введение в инженерную психологию и эргономику иммерсивных сред: Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2011. 258 с.
12. **Гончаров С. М., Маркин М. Е.** "Интерфейс мозг-компьютер" как нестандартная технология управления и передачи информации // Доклады ТУСУР. 2014. № 2 (32). С. 252—256.
13. **Ганин И. П., Шишкин С. Л., Кочетова А. Г., Каплан А. Я.** Интерфейс мозг—компьютер "на волне P300": исследование эффекта номера стимулов в последовательности их предъявления // Физиология человека. 2012. Т. 38, № 2. С. 5—13.
14. **Vidal J. J.** Towards direct brain-computer communication // Annual review of Biophysics and Bioengineering. 1973. Vol. 2, N. 1. P. 157—180.
15. **Wolpaw J. R., Birbaumer N., McFarland D. J.** et al. Brain—computer interfaces for communication and control // Clinical Neurophysiology. 2002. V. 113. P. 767.
16. **Фролов А. А., Рошин В. Ю.** Интерфейс мозг—компьютер. Реальность и перспективы: Научная конференция по нейроинформатике, МИФИ 2008 год, Лекции по нейроинформатике. URL: <http://neurolucres.narod.ru/2008/Frolov-2008.pdf>.
17. **Сонькин К. М.** Система классификации электроэнцефалографических сигналов воображаемых движений мелкой моторики для интерфейса мозг—компьютер: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.16. СПб., 2016. 163 с.

18. **Сергеев С. Ф.** Адаптивность в тренажерах // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 6 (76). С. 118—123.
19. **Сергеев С. Ф.** Адаптивная автоматизация деятельности оператора в среде иммерсивного интерфейса мехатронного подвижного объекта // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 5. С. 15—21.
20. **Сергеев С. Ф., Заплаткин Ю. Ю., Захаревич М. А., Соколов В. Н.** Проблема адаптивности в тренажерах // Российский научный журнал. 2012. № 2 (27). С. 132—141.
21. **Сергеев С. Ф.** Регуляция, саморегуляция, самоорганизация, саморазвитие в понятийном базисе психологии // Актуальные проблемы психологии труда, инженерной психологии и эргономики. Вып. 4. М.: Институт психологии РАН, 2012. С. 238—259.
22. **Сергеев С. Ф.** Методологические проблемы человеко-машинного интерфейса // XII Всеросс. совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16—19 июня 2014 г.: Труды [Электронный ресурс] М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. 2014. С. 6414—6421.
23. **Анохин А. Н.** Адаптивный интерфейс для операторов сложных систем // Тр. XII Всеросс. совещания по проблемам управления: ВСПУ-2014 (Москва, 16—19 июня 2014). М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2014. С. 6345—6356.
24. **Инженерная психология** / Под ред. Б. Ф. Ломова, В. Ф. Рубахина, В. Ф. Венды. М.: Наука, 1977. 302 с.
25. **Дикая Л. Г.** Адаптация: методологические проблемы и основные направления исследований // Психологическая адаптация и социальная среда: современные подходы, проблемы, перспективы. М.: Институт психологии РАН, 2007. С. 17—41.
26. **Матурана У.** Биология познания // Язык и интеллект / Пер с англ. и нем. / Сост. и вступ. ст. В. В. Петрова. М.: Прогресс, 1996. С.95—142.
27. **Матурана У., Варела Ф.** Древо познания / Пер. с англ. Ю. А. Данилова. М.: Прогресс-Традиция, 2001.
28. **Edelman G. M.** The remembered present. A biological theory of consciousness. New York: Basics Books, 1989.
29. **Иваницкий А. М.** Мозговая основа субъективных переживаний: гипотеза информационного синтеза // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 1996. Т. 46, № 2. С. 241—252.
30. **Dodson R. F.** et al. (1978). Cerebral tissue response to electrode implantation // Can. J. Neurol. Sci. 5 (4). P. 443—446.
31. **Suga H., Tschopp P., Graziussi D. F., Stierwald M., Schmid V., Gehring W. J.** (2010) Flexibly deployed Pax genes in eye development at the early evolution of animals demonstrated by studies on a hydrozoan jelly fish // Proc. Natl. Acad. Sci. USA 107 (32): 14263—14268.
32. **Miran M. D., & Miran E. R., Chen N.** Design Of Living Systems In The Information Age: Brain, Creativity and the Environment, In J Seckbach et al. (Eds.), Origin(s) of Design in Nature: A Fresh, Interdisciplinary Look at How Design Emerges in Complex Systems, Especially Life, Springer: 2012.
33. **Куксова Н. С.** Эти удивительные дельфины // Нейрохирургия. 2011. № 3. С. 3—7.
34. **Сергеев С. Ф.** Интеллектуальные симбионты в дружественном интерфейсе глобальных техногенных сред // Матер. 8-й Всеросс. мультikonf. по проблемам управления (28 сентября — 3 октября 2015 года). Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2015. Т. 1. С. 150—153.
35. **Сергеев С. Ф.** Проблема эффективного взаимодействия человека-оператора с интеллектуальными техническими системами и средами // Матер. 3-го междунар. науч.-техн. семинара "Современные проблемы прикладной математики, информатики, автоматизации, управления" (9—13 сентября, г. Севастополь). М.: ИПИ РАН, 2013. С. 183—197.
36. **Сергеев С. Ф.** Эргономика иммерсивных сред: методология, теория, практика: дис. ... д-ра психол. наук: 19.00.03: защищена 7.04.10: утв. 28.01.11 / Сергеев Сергей Федорович. СПб., 2010. 420 с.
37. **Сергеев С. Ф.** Присутствие и иммерсивность в обучающих средах. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 122 с.
38. **Сергеев С. Ф.** Наука и технология XXI века. Коммуникации и НБИКС-конвергенция // Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии (НБИКС) и трансгуманистическая эволюция. М.: ООО "Издательство МБА", 2013. С. 158—168.

# Biomorphic Neuroadaptive Interfaces in the Ergatic Systems: Problems and Solutions

**S. F. Sergeev**, Professor, s.f.sergeev@spbu.ru✉,  
St. Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034 Russia

Corresponding author: **Sergeev Sergei F.**, D. Sc., Professor,  
St. Petersburg State University, St. Petersburg, 199034, Russian Federation,  
e-mail: s.f.sergeev@spbu.ru

Received on April 30, 2016

Accepted on May 20, 2016

The article shows evolution of the human-machine interface ergonomic systems in the direction of improvement of integration with human, who connects the controlled technical environments. The author presents a classification of the interfaces and the interface environments depending on the degree of the user's integration with the operating environment. The author describes the following types of the integrative interfaces based on the level of the physical interaction of the mechanical controls intended to complete integration of an actor (actors) in the organized working environment: mechanical, with an immediate visual feedback, the mechanical feedback through an information model, a computer user virtual, neurocomputing, symbiotic, biomorphic, technobiotics hypothetical interfaces embodied in the artificial intelligence environment. The author considers the brain-computer interface, ensuring a direct link with the brain of an operator as one of the promising areas of the inter-system integration, which can be used in the form of a "brain-computer" technology. The author shows fundamental limitations in the technology and methodology for creation of this class of interfaces. The next section of the paper deals with the problems of creation of the hybrid biomorphic neuroadaptive interfaces, including creation of the artificial sensory modalities, which ensure an effective interaction with the operator control system. The author notes the potential of creation of the biomorphic and hybrid interfaces as a result of the joint use of the genetic engineering and technical design as a part of the system of non-classical representations. The key problem in creation of the biomorphic interfaces is the problem of inter-system integration between the classic technical systems and biological systems, which implement the cyclic self-reproduction (autopoiesis), because of the interference in the operational structure of the autopoietic systems, which leads to their destruction. In conclusion, the author points out that the evolution of the human integration with the artificial environment can lead to appearance of an embodied mind in an artificial environment, which goes beyond the human nature, organized like a non-biological media. This issue is currently on the cutting edge of the scientific knowledge and can be interesting as a philosophical problem arising in the extreme boundaries of the inter-system integration of man and technology.

**Keywords:** adaptation, biomorphic interface information and communication technologies, inter-system integration, symbiosis

**Acknowledgements:** The work was supported by the Russian Foundation for Humanities, the project number 15-06-10640, RFBR, project number 16-08-00313.

For citation:

**Sergeev S. F.** Biomorphic Neuroadaptive Interfaces in the Ergatic Systems: Problems and Solutions, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 9, pp. 599–604.

DOI: 10.17587/mau.17.599-604

## References

1. **Filimonov A. B., Filimonov N. B.** *Intellektual'naya podderzhka cheloveka-operatora v ehrgaticeskikh sistemah upravleniya* (Intellectual support of the human operator in ergatic control systems), *Trudy Vtoroj Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Chelovecheskij faktor v slozhnykh tekhnicheskikh sistemah i sredah"* (Ehrgo-2016), SPb., Mezhtregion. ehrgonomicheskaya asociatsiya, 2016, pp. 117–123 (in Russian).
2. **Sergeev S. F.** *Psihologicheskie aspekty problemy interfejsa v tehnogenom mire* (Psychological aspects of interface problems in man-made world), *Psihologicheskij Zhurnal*, 2014, vol. 35, no. 5, pp. 88–98 (in Russian).
3. **Sergeev S. F., Paderno P. I., Nazarenko N. A.** *Vvedenie v proektirovanie intellektual'nykh interfejsov* (Introduction to the design of intelligent interfaces), SPb, SPBGU ITMO, 2011 (in Russian).
4. **Vudson U., Konover D.** *Spravochnik po inzhenernoj psihologii dlja inzhenerov i hudozhnikov-konstruktorov* (Handbook of engineering psychology for engineers and artists-designers), Moscow, Mir, 1968 (in Russian).
5. **Oshanin D. A.** *Predmetnoe dejstvie i operativnyj obraz* (The subject action and operational image), Voronezh, NPO MODJeK, 1999 (in Russian).
6. **Obzovov A. A.** *Predstavlenie o strukture konceptual'noj modeli v trudah D. A. Oshanina* (Insight into the structure of the conceptual model in the works of D. A. Oshanin), *D. A. Oshanin i sovremennaja psihologija: k 100-letiju so dnja rozhdenija D. A. Oshanina*, Moscow, Obninsk, IG SOCIN, 2008, 292 p. (in Russian).
7. **Zavalova N. D., Lomov B. F., Ponomarenko V. A.** *Obraz v sisteme psicheskoi reguljacii dejatel'nosti* (The image in the system of mental regulation of activities), Moscow, Nauka, 1986 (in Russian).
8. **Sergeev S. F.** *Metody testirovanija i optimizacii interfejsov informacionnykh sistem: Uchebnoe posobie* (Methods of testing and optimization of interfaces of information systems: a tutorial), SPb, Publishing house of S.-Peterb. university, 2015 (in Russian).
9. **Sergeev S. F., Sokolov V. N., Koroteev G. L.** *Metody juzabiliti v trenazherah i obuchajushhix sistemah* (Usability methods in the simulators and training systems), SPb, Publishing house of Politehn. unta, 2012 (in Russian).
10. **Sergeev S. F.** *Obuchajushhie i professional'nye immersivnye sredy* (Training and professional immersive environment), Moscow, Narodnoe obrazovanie, 2009 (in Russian).
11. **Sergeev S. F.** *Vvedenie v inzhenernuju psihologiju i jergonomiku immersivnykh sred: Uchebnoe posobie* (Introduction to engineering psychology and ergonomics immersive environments: a Training manual.), SPb, Publishing house of SPbGU ITMO, 2011 (in Russian).
12. **Goncharov S. M., Markin M. E.** *"Interfejs mozg-komp'juter" kak nestandartnaja tehnologija upravlenija i peredachi informacii* ("Brain-computer interface" as a non-standard control technology and information transfer), *Doklady TUSUR*, 2014, no. 2 (32), pp. 252–256 (in Russian).
13. **Ganin I. P., Shishkin S. L., Kochetova A. G., Kaplan A. Ja.** *Interfejs mozg-komp'juter "na volne P300": issledovanie jeffekta nomera stimuloval v posledovatel'nosti ih pred#javlenija* (Interface brain-computer "in the Wake of P300: an investigation of the effect of numbers of stimuli in the sequence they are presented), *Fiziologija Cheloveka*, 2012, vol. 38, no. 2, pp. 5–13 (in Russian).
14. **Vidal J. J.** *Towards direct brain-computer communication, Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, 1973, vol. 2, no. 1, pp. 157–180.

15. **Wolpaw J. R., Birbaumer N., McFarland D. J.** et al. Brain—computer interfaces for communication and control, *Clinical Neurophysiology*, 2002, vol. 113, 767 p.
16. **Frolov A. A., Roshhin V. Ju.** *Interfejs mozg-komp'juter. Real'nost' i perspektivy: Nauchnaja konferencija po neiroinformatike MIFI 2008 god, Lekcii po neiroinformatike* (Interface brain-computer. Reality and prospects: Scientific conference on Neuroinformatics, Moscow engineering physics Institute 2008, Lectures on Neuroinformatics), available at: <http://neuroleures.narod.ru/2008/Frolov-2008.pdf> (in Russian).
17. **Son'kin K. M.** *Sistema klassifikacii jelektroencefalograficheskikh signalov voobrazhaemykh dvizhenij melkoj motoriki dlja interfejsa mozg-komp'juter* (The system of classification of electroencephalographic signals of imaginary movement's fine motor skills to interface brain-computer): dis. ... kand. tehn. nauk: 05.11.16. SPb., 2016 (in Russian).
18. **Sergeev S. F.** *Adaptivnost' v trenazh'jorah* (Adaptability in the trainer), *Nauchno-Tehnicheskij Vestnik Sankt-Peterburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta Informacionnykh Tehnologij, Mehaniki i Optiki*, 2011, no. 6 (76), pp. 118—123 (in Russian).
19. **Sergeev S. F.** *Adaptivnaja avtomatizacija dejatel'nosti operatora v srede immersivnogo interfejsa mehatronnogo podvizhnogo ob'ekta* (Adaptive automation of operator activities in the immersive environment of the mechatronic interface for movable object), *Mehatronika, Avtomatizacija, Upravlenie*, 2012, no. 5, pp. 15—21 (in Russian).
20. **Sergeev S. F., Zaplatkin Ju. Ju., Zaharevich M. A., Sokolov V. N.** *Problema adaptivnosti v trenazherah* (The problem of adaptability in the trainer), *Rossijskij Nauchnyj Zhurnal*, 2012, no. 2 (27), pp. 132—141 (in Russian).
21. **Sergeev S. F.** *Reguljacija, samoreguljacija, samoorganizacija, samorazvitie v ponjatijnom bazise psihologii* (Regulation, self-regulation, self-organization, self-development in the conceptual basis of psychology), *Aktual'nye problemy psihologii truda, inzhenernoj psihologii i jergonomiki*, Iss. 4, Moscow, Institut psihologii RAN, 2012, pp. 238—259 (in Russian).
22. **Sergeev S. F.** *Metodologicheskie problemy cheloveko-mashin-nogo interfejsa* (Methodological problems in man-machine interface), *Proc. of XII Vserossijskoe soveshhanie po problemam upravlenija VSPU-2014*, Moscow, Institut problem upravlenija im. V. A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 6414—6421 (in Russian).
23. **Anohin A. N.** *Adaptivnyj interfejs dlja operatorov slozhnyh sistem* (An adaptive interface for operators of complex systems), *Proc. of XII Vserossijskoe soveshhanie po problemam upravlenija VSPU-2014*, Moscow, Institut problem upravlenija im. V. A. Trapeznikova RAN, 2014, pp. 6345—6356 (in Russian).
24. **Lomov B. F., Rubahin V. F., Vandy V. F.** ed. *Inzhenernaja psihologija* (Engineering psychology), Moscow, Nauka, 1977 (in Russian).
25. **Dikaja L. G.** *Adaptacija: metodologicheskie problemy i osnovnye napravlenija issledovanij* (Adaptation: methodological problems and main directions of research), *Psihologicheskaja adaptacija i social'naja sreda: sovremennye podhody, problemy, perspektivy*, Moscow, Institut psihologii RAN, 2007, pp. 17—41 (in Russian).
26. **Maturana U.** *Biologija poznanija* (The biology of cognition), *Jazyk i intellect*, Moscow, Progress, 1996, pp. 95—142 (in Russian).
27. **Maturana U., Varela F.** *Drevo poznanija* (The tree of knowledge), Moscow, Progress-Tradicija, 2001 (in Russian).
28. **Edelman G. M.** *The remembered present. A biological theory of consciousness*, New York: Basics Books, 1989.
29. **Ivanickij A. M.** *Mozgovaja osnova sub'ektivnykh perezhivanij: gipoteza informacionnogo sinteza* (Brain basis of subjective experiences: the hypothesis of information synthesis), *Zhurnal vysshej nervnoj dejatel'nosti im. I. P. Pavlova*, 1996, v. 46, no. 2, pp. 241—252 (in Russian).
30. **Dodson R. F.** et al. Cerebral tissue response to electrode implantation, *Can. J. Neurol. Sci.*, 1978, 5 (4). pp. 443—446.
31. **Suga H., Tschopp P., Graziussi D. F., Stierwald M., Schmid V., Gehring W. J.** Flexibly deployed Pax genes in eye development at the early evolution of animals demonstrated by studies on a hudozoan jelly fish, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2010, 107 (32): 14263—14268.
32. **Miran M. D. & Miran E. R., Chen N.** *Design Of Living Systems In The Information Age: Brain, Creativity and the Environment*, In J. Seckbach et al. (Eds.), *Origin(s) of Design in Nature: A Fresh, Interdisciplinary Look at How Design Emerges in Complex Systems, Especially Life*, Springer, 2012.
33. **Kuksova N. S.** *Seti udivitel'nye del'finy* (These amazing dolphins), *Nejrohirurgija*, 2011, no. 3, pp. 3—7 (in Russian).
34. **Sergeev S. F.** *Intellektnye simbioity v družestvennom interfeise global'nykh tehnogennykh sred* (Intelligent symbionts in a friendly interface of global man-made environments), *Proc. of 8<sup>th</sup> Vseross. mul'tikonf. po problemam upravlenija*, Rostov-na-Donu, Publishing house of Juzhnogo federal'nogo universiteta, 2015, vol. 1, pp. 150—153 (in Russian).
35. **Sergeev S. F.** *Problema jeffektivnogo vzaimodejstvija cheloveka-operatora s intellektual'nymi tehnicheskimi sistemami i sredami* (The problem of effective interaction of the human operator with intelligent technical systems and environments), *Proc. of 3<sup>rd</sup> Internat. science-technical. seminar "Sovremennye problemy prikladnoj matematiki, informatiki, avtomatizacii, upravlenija"*, Moscow, IPI RAN, 2013, pp. 183—197 (in Russian).
36. **Sergeev S. F.** *Jergonomika immersivnykh sred: metodologija, teorija, praktika* (Ergonomics immersive environments: methodology, theory, practice): dis. ... d-ra psihol. nauk: 19.00.03: zashhishhena 7.04.10: utv. 28.01.11, SPb, 2010 (in Russian).
37. **Sergeev S. F.** *Prisutstvie i immersivnost' v obuchajushhijh sredah* (The presence and immersively in learning environments), SPb, Publishing house of Politehn. university, 2011 (in Russian).
38. **Sergeev S. F.** *Nauka i tehnologija XXI veka. Kommunikacii i NBIKS-konvergencija* (Science and technology of the XXI century. Communications and NBIC-convergence), *Global'noe budushhee 2045. Konvergentnye tehnologii (NBIKS) i transgumanisticheskaja jevoljucija*, Moscow, Izdatel'stvo MBA, 2013, pp. 158—168 (in Russian).