

## ЭВОЛЮЦИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Воробьёв Богдан Витальевич,**

к. т. н., зав. кафедрой Автоматизированных  
электромеханических систем

Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

**Погасий Сергей Сергеевич,**

к. э. н., доцент кафедры Кибербезопасности и  
информационных технологий

Харьковский национальный экономический  
университет им. С. Кузнеця

**Аннотация.** Анализ количества публикаций о киберфизических системах показывает устойчивую тенденцию к росту. Обзор определений киберфизических систем раскрывает общую терминологию информатики и системной инженерии. Определения в значительной степени согласованы во времени и выделяют набор из 6 общих характеристик киберфизических систем.

**Ключевые слова:** киберфизические системы, физические компоненты, вычислительные алгоритмы

**Введение.** В связи с достаточно частым использованием парадигмы «Киберфизические системы» (КФС) в течение последних десяти лет в настоящее время необходима систематизация предлагаемых понятий, определение и разграничение концепций, адаптация технологических идей к новой парадигме. Первоначальная концепция КФС возникла на пересечении компьютерных и инженерных отраслей в таких областях, как встроенные вычисления и мехатроника.

**Цель работы.** Изучение основных тенденций развития определения «Киберфизические системы», оценка основных примеров и анализ понятия.

**Материалы и методы.** Этимологически префикс кибер происходит от древнегреческого слова «κυβέρνησις» (кибернез) в оригинале означает навыки

управления. Оно превратилось в латинское слово «gubernare» и, наконец, в английское слово «govern» (управлять). В контексте это означает, что системы, в которых физические объекты и вычислительные ресурсы тесно интегрированы и демонстрируют степень непрерывной координации друг с другом [1].

Конрад Цузе был одним из основателей в области киберфизических систем. Им была создана в 1941 г. первая работоспособная полнофункциональная программно управляемая и свободно программируемая вычислительная машина. Этот автоматический компьютер считывал значения с сорока датчиков, работающих как аналого-цифровые преобразователи, и обрабатывал эти значения как переменные в программе.

Несколько позже, в 1948 году, Норберт Винер [2] подробно остановился на концепциях механизмов обратной связи в технических, системах.

Эдвард А. Ли характеризует КФС, как интеграцию вычислений с физическими процессами. Встроенные компьютеры и сети отслеживают и управляют физическими процессами, обычно с помощью контуров обратной связи, в которых физические процессы влияют на вычисления, и наоборот. В физическом мире время неумолимо, и параллелизм является неотъемлемой частью. Ни одно из этих свойств не присутствует в сегодняшних вычислительных и сетевых абстракциях. [3]

Совет советников президента США по науке и технологиям в 2007 году определяет КФС, как системы в которых вычисления и сети глубоко интегрированы в другие спроектированные системы, связаны с физическим миром через датчики и исполнительные механизмы для безопасного и надежного выполнения важных функций мониторинга и управления. [4]

В работе Альваро за 2008г., КФС рассматриваются, как объединение вычислительных и коммуникационных возможностей с мониторингом и контролем объектов в физическом мире, которые состоят из набора сетевых агентов, включая: датчики, исполнительные механизмы, управляющие процессоры и устройства связи [5].

Одним из апологетов определения КФС считают Хелен Гилл, которая дает определение данному понятию - это физические, биологические и инженерные системы, операции которых интегрированы, отслеживаются и/или контролируются вычислительным ядром. Компоненты объединены в сеть в каждом масштабе. Вычисления «глубоко встроены» в каждый физический компонент, возможно, даже в материалы. [6]

Руководящая группа CPS Программы исследований и развития сетевых и информационных технологий (NITRD) отмечает, что интеграция физических систем и процессов с сетевыми вычислениями привела к появлению нового поколения инженерных систем: киберфизических систем. Такие системы используют вычисления и связь, глубоко встроенные в физические процессы и взаимодействующие с ними, для добавления новых возможностей к физическим системам. [7].

В сводном отчете семинара «Основы инноваций в киберфизических системах» КФС описывают, как интеллектуальные системы, которые включают в себя вычислительные (например, аппаратное и программное обеспечение) и физические компоненты, бесшовно интегрированные и тесно взаимодействующие друг с другом для определения меняющегося состояния реального мира. Эти системы обладают высокой степенью сложности во многих пространственных и временных масштабах, а также сетевыми коммуникациями, объединяющими вычислительные и физические компоненты. [8]

Межведомственная группа W. Group (IWG) рассматривает КФС как интеллектуальные сетевые системы со встроенными датчиками, процессорами и исполнительными механизмами, которые предназначены для восприятия и взаимодействия с физическим миром (включая людей-пользователей) и поддерживают гарантированную производительность в реальном времени в критически важных для безопасности приложениях. В системах КФС совместное поведение «кибер» и «физических» элементов системы имеет решающее значение - вычисления, управление, зондирование и сетевое взаимодействие

могут быть глубоко интегрированы в каждый компонент, а действия компонентов и систем должны быть безопасными и совместимыми. [9].

Национальный научный фонд рассматривает КФС как, спроектированные системы, которые построены на основе бесшовной интеграции вычислительных алгоритмов и физических компонентов и зависят от нее. [10]

В журнале Транзакции АСМ в киберфизических системах (TCPS) КФС считают объединяющими системами, в которых вычислительные и коммуникационная части, и физические части тесно интегрированы как во время проектирования, так и во время эксплуатации. [11].

**Результаты и обсуждение.** Рассматривая основные определения КФС можно выделить шесть основных характеристик, которые являются общими для всех источников табл.1

**Таблица 1**

**Общие характеристики определения парадигмы «Киберфизические системы»**

Характеристики	Описание
Комбинаторика системы	Взаимодействие разнородных физических и логических элементов путем интеграция вычислений с физическими процессами
Гибридность применения методов	Интегрированные возможности сети, обработки информации, обнаружения и срабатывания позволяют физическим устройствам работать в изменяющейся среде.
Контроль	Мониторинг и контроль объектов в физических систем вычислительным и коммуникационным ядром
Компоненты системы	Физические компоненты (датчики) Системы вычислений Системы связи
Время	Время вычислений и связи и семантика событий взаимозависимы с физическим временем и семантикой событий
Надежность	Наличие элементов безопасности, надежности и защищенности

По сути, новый термин «киберфизические системы (КФС)» - это архитектурная парадигма, в которой широко распространенные сенсорные технологии представляют собой фундаментальную часть. Термин «киберфизические системы», первоначально определенный в области компьютерных наук, был адаптирован к очень различным областям, таким как теория управления или электронная инженерия.

Появляющиеся определения киберфизических систем (КФС) представляют собой системы управления физических устройств, выполняющих контуры управления с обратной связью, где устройства предоставляют и получают информацию от системы управления, которая выполняет определенное приложение. В общем, предполагается, что физические устройства интегрированы в повседневные объекты, составляя так называемые встроенные системы или встроенные устройства. Исходя из этого общего ядра и в зависимости от рассматриваемой технологической области, КФС могут быть сфокусированы на очень разных вопросах, таких как повышение уровня интеграции во встроенных устройствах, создание приложений реального времени или предоставление настраиваемых услуг

**Выводы.** КФС понимаются по-разному в разных технологических областях, понимание характеристик и влияния КФС - сложная задача.

Первоначально определенный в области компьютерных наук, термин КФС быстро эволюционировал в другие области, увеличивая разброс в архитектурах, характеристиках, сценариях использования. Это явление усугубляется появлением других терминов (таких как «Индустрия 4.0», «Интернет вещей» или «Беспроводные сенсорные сети»), которые четко не отделены от КФС и иногда используются как синонимы. Однако в ближайшем будущем использование парадигмы КФС в практических технологиях и создание новых стандартов, связанных с КФС, поможет сузить объем и границы этих систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sztipanovits, Janos (2007). 14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS '07), pp. 3-6, IEEE Computer Soc Автоматизированных электромеханических систем.iety.
2. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине.1948-1961. - 2-е издание. - М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. - 344 с.
3. [https://ptolemy.berkeley.edu/publications/papers/06/CPSPositionPaper/Lee\\_CPS\\_PositionPaper.pdf](https://ptolemy.berkeley.edu/publications/papers/06/CPSPositionPaper/Lee_CPS_PositionPaper.pdf)
4. <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-07-nitrd-review.pdf>
5. Alvaro A. Cardenas, Saurabh Amin, Shankar Sastry; The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, IEEE Xplore, DOI: 10.1109/ICDCS.Workshops.2008.40
6. [https://www2.ee.washington.edu/research/nsl/aar-cps/Gill\\_HCSS\\_Transportation\\_CyberPhysical\\_Systems\\_2008.pdf](https://www2.ee.washington.edu/research/nsl/aar-cps/Gill_HCSS_Transportation_CyberPhysical_Systems_2008.pdf)
7. [http://iccps.acm.org/2011/\\_doc/CPS-Executive-Summary.pdf](http://iccps.acm.org/2011/_doc/CPS-Executive-Summary.pdf)
8. <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/CPS-WorkshopReport-1-30-13-Final.pdf>
9. [https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/images/6/6a/Cyber\\_Physical\\_Systems\\_\(CPS\)\\_Vision\\_Statement.pdf](https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/images/6/6a/Cyber_Physical_Systems_(CPS)_Vision_Statement.pdf)
10. [https://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=503286](https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286)
11. ACM Transactions on Cyber-Physical Systems, <https://tcps.acm.org/>