

# ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Д. Н. Зырянов, Н. Ф. Денисова

*Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, 070004,  
Усть-Каменогорск, Казахстан*

УДК 004.4

Киберфизические системы (КФС) представляют собой инженерные системы, в которых операции отслеживаются, координируются и контролируются с помощью вычислительного ядра. КФС основываются на технологии «Интернет вещей» и взаимодействуют с реальным миром через сенсоры и манипуляторы. Следовательно, информация в КФС необходимо обрабатывать и передавать как можно быстрее для своевременного создания управляющих сигналов на возникающие события физического мира. Данное утверждение является главным требованием к информационной системе, поддерживающей работу КФС. В статье приводится краткое описание физической инфраструктуры КФС, анализ производственного процесса мебельного цеха с использованием КФС и его функциональное моделирование в нотации IDEF0 для определения основных модулей, что является промежуточным этапом на пути создания имитационной модели КФС.

**Ключевые слова:** киберфизические системы, IDEF0, модель системы, промышленный интернет.

## Введение

Быстрое развитие и внедрение информационно-коммуникационных технологий привело к широкому распространению Интернета. В наши дни он становится недорогим сервисом, доступным широкому кругу лиц как по проводной, так и по беспроводной технологиям. С другой стороны, технологические достижения в области микрочипов и микропроцессоров позволяют в настоящее время создавать очень маленькие и миниатюрные микрокомпьютеры, которые могут быть встроены в любое электрическое устройство, например, в стиральную машину, микроволновую печь, холодильник и т.д.

Основная идея Интернета вещей заключается в объединении различных интеллектуальных встроенных систем в единую глобальную сеть для регистрации и передачи информации с конечных устройств в информационные системы для целей мониторинга [1, 2].

КФС являются следующим этапом развития встроенных вычислительных систем (рис. 1), где ключевым аспектом является функционирование различных устройств и программного обеспечения в качестве единой системы, не обязательно требующей подключения к Интернету [3]. Современными примерами КФС являются транспортные сети [4], электростанции [5] и умные производства [6].

КФС взаимодействуют с физическим миром через сенсоры и манипуляторы. Манипулятор (или привод) является физическим устройством, которое может изменять окружающее пространство, к примеру, поднять и переместить объект или переместиться самостоятельно на необходимое расстояние. Сенсорами являются электронные устройства, которые могут измерять различные характеристики окружающего пространства или идентифицировать происходящие в нем события. В качестве примеров можно привести датчик освещенности, датчик влажности, инфракрасный сенсор, определяющий расстояние до ближайшего объекта, и т.д.

Наличие подобных возможностей отличает КФС от других информационных систем, которые работают только в киберпространстве. Необходимо учитывать отличительные особенности такой физической архитектуры при описании информационной модели системы, поддерживающей функционирование КФС.

Дальнейшая часть статьи представлена следующим образом. В 1 разделе изложена информация о схожих работах в данном направлении исследований. Во 2 разделе рассматривается физическая архитектура КФС и ее отличие от других систем. В 3 разделе представлена функциональная модель КФС производства мебели. Заключение содержит результаты моделирования и дальнейшие направления исследований.

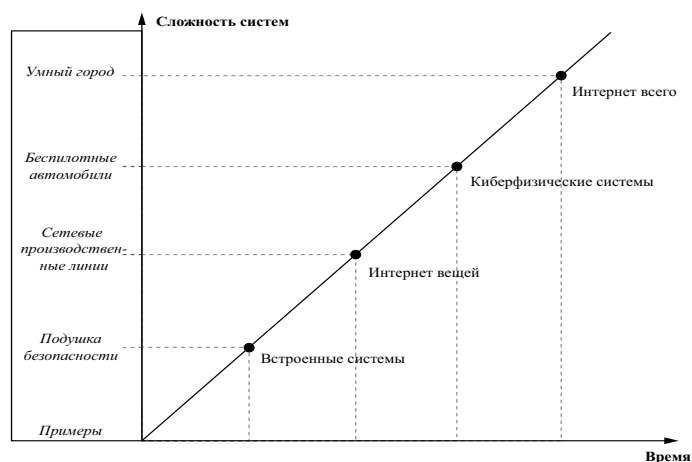


Рис. 1: Эволюция встроенных компьютерных систем

## 1 Обзор литературы

КФС является системой высокой сложности, состоящей из множества типов аппаратного и программного обеспечения. Более того, возможность взаимодействия с реальным миром накладывает дополнительные требования к безопасности, экологичности и отказоустойчивости такой системы.

Одним из наиболее важных направлений исследований КФС за последние 3 года (2014-2016) является обеспечение безопасности их функционирования [7]. Кибератаки на КФС могут быть как внешние [8], так и внутренние [9]. Другим направлением исследований является адаптация технологий КФС для взаимодействия с физическим миром (в котором, по сравнению с киберпространством, время играет важнейшую роль) посредством создания новых моделей задач [10] или событийно-ориентированных систем [4]. В связи с изменяющейся структурой КФС (добавление/удаление устройств и обновление программного обеспечения), были предложены динамические и адаптивные модели данных [4].

Все вышеизложенные модели рассматривают КФС как сложную систему или систему систем, без учета ориентированности на цель ее создания.

## 2 Физическая инфраструктура КФС

В любой КФС можно выделить три уровня физической архитектуры: уровень устройств, сетевой и системный уровни. Каждый уровень выполняет определенные задачи (рис. 2).



Рис. 2: Физическая архитектура КФС

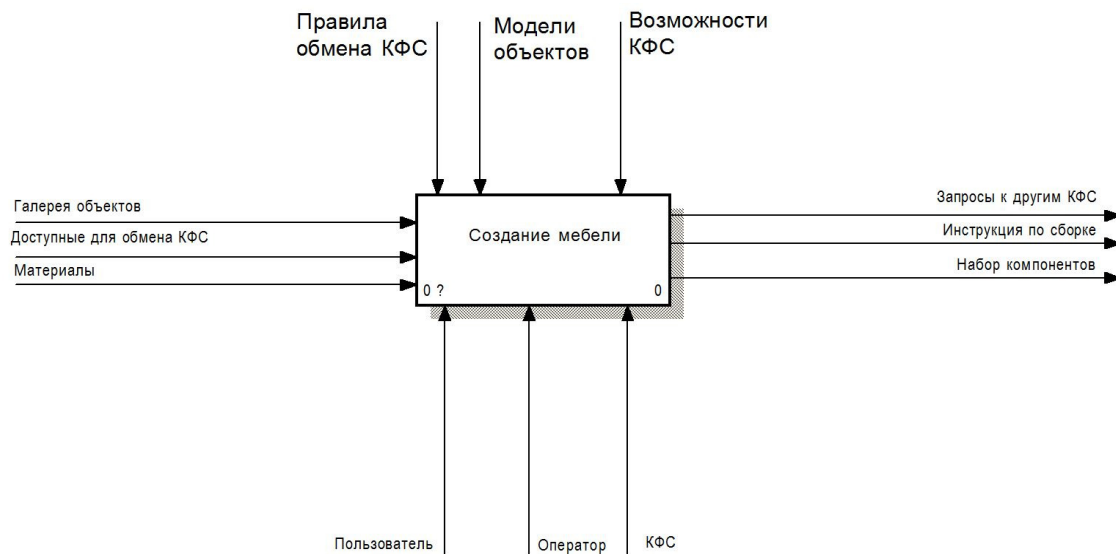


Рис. 3: Контекстная диаграмма

На первом уровне физической архитектуры КФС располагаются различные электронные и встроенные устройства, такие как манипуляторы и сенсоры. Они являются своеобразным интерфейсом между физическим миром и киберпространством. Устройства на этом уровне регистрируют события и свойства окружающего пространства и взаимодействуют с ним.

Второй, сетевой уровень физической архитектуры КФС, представлен проводными и беспроводными сетями и аппаратными комплексами, которые соединяют различные устройства первого уровня между собой и с другими сетями через Интернет. На данном уровне данные от сенсоров передаются другим устройствам и информационным системам, которые в свою очередь посылают управляющие сигналы манипуляторам. Второй уровень называется киберфизической системой сетью и основывается на беспроводной сети датчиков (англ. WSN – Wireless Sensor Networks).

Последний, третий уровень состоит из различных серверов и персональных компьютеров. Основное назначение системного уровня заключается в координации поведения всех устройств и обучении КФС соответствующим образом реагировать на события физического мира в зависимости от целей функционирования. В результате все подключенные устройства взаимодействуют друг с другом в киберпространстве и выполняют соответствующие действия в физическом мире, основываясь на командах системного уровня и знаниях, хранящихся в базе знаний.

Такая архитектура позволяет построить отказоустойчивую распределенную систему с высокой нагрузкой данных. Расширяемость системы реализуется путем добавления дополнительных вычислительных и сетевых ресурсов на втором и третьем уровнях [11].

Основное отличие КФС от обычных информационных систем (или производственных цепочек) заключается в изменчивой структуре компонентов КФС, особенно на уровне устройств физической архитектуры. Добавление нового оборудования должно приводить к увеличению возможностей системы и реконфигурированию ее алгоритмов.

Еще одной отличительной чертой КФС является широкое разнообразие в архитектуре и принципах функционирования различных электронных устройств. База знаний КФС должна содержать всю необходимую информацию о протоколах и интерфейсах для взаимодействия с различными видами оборудования.

### 3 Функциональная модель КФС

Для определения требований, критериев функциональности и эффективности информационной системы поддержки КФС необходимо разработать функциональную модель со стандартными неизменяемыми функциями.

Рассмотрим для примера применение КФС в производственном процессе создания мебели. Основным

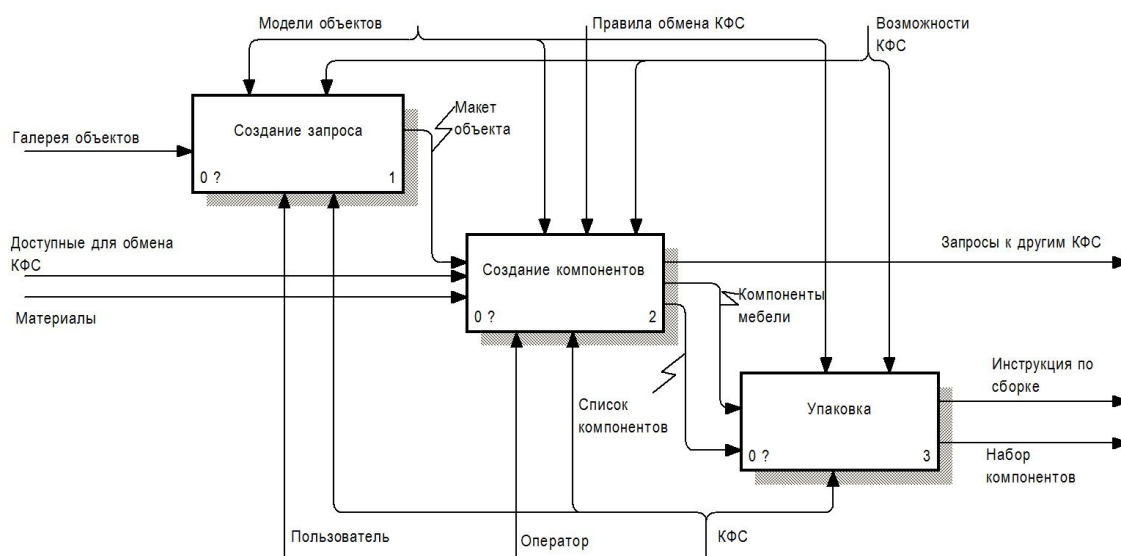


Рис. 4: Декомпозиция первого уровня

процессом данного производства будет являться создание заготовок — элементов конструкции всей мебели (рис. 3). Любой заказчик (пользователь КФС) может выбрать необходимую мебель из галереи шаблонов. Подобная галерея состоит из различной мебели, которую можно создать в зависимости от возможностей КФС.

Одним из важных свойств таких систем является возможность обмена данными с другими КФС. Если некоторые элементы модели невозможно создать в КФС, система может найти другую КФС с необходимыми возможностями и отправить запрос на создание детали.

Процесс создания может быть декомпозирован на 3 подпроцесса (рис. 4): создание запроса пользователем, производство и упаковка деталей КФС под контролем оператора.

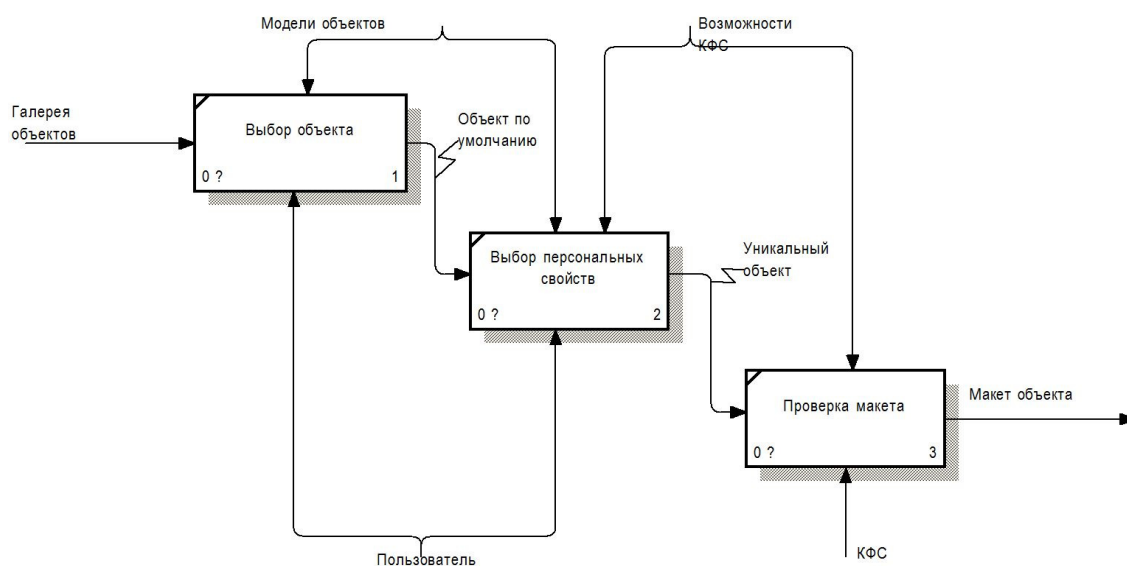


Рис. 5: Действие «Создание запроса»

На этапе создания запроса пользователь выбирает необходимую заготовку из галереи и указывает дополнительные параметры из определенного перечня, такие как: цвет, материал и размер (рис. 5). Взаимодействие между заказчиком и КФС осуществляется с помощью графического пользовательского интерфейса

информационной системы, работающей на верхнем уровне архитектуры КФС. В отличие от серийного производства, в КФС существует возможность указания дополнительных персональных параметров [12]. Процесс производства начинается после проверки модели и характеристик пользователя.

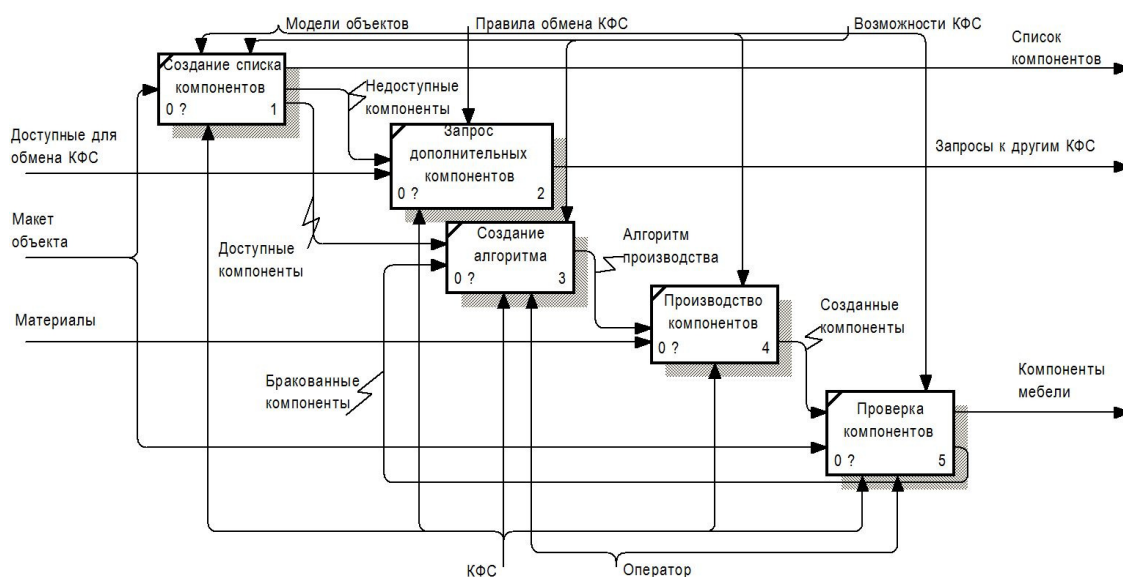


Рис. 6: Действие «Создание компонентов»

Первым этапом производственного подпроцесса является декомпозиция модели на составные компоненты (рис. 6). Данный шаг выполняется с использованием накопленной информации из базы знаний, либо с помощью специальных алгоритмов. Результатом данного действия является список элементов, которые необходимо создать на машинах КФС.

В дальнейшем система делит элементы списка на 2 группы. Первая группа содержит список компонентов, которые КФС не может произвести на существующем оборудовании или из имеющихся материалов. Данные компоненты запрашиваются у других КФС с помощью интерфейса обмена (второе действие). На основании списка элементов второй группы создается производственный алгоритм для существующих машин (третье действие) и начинается процесс их создания из заготовок в соответствии с дополнительными характеристиками заказчика (четвертое действие). После создания каждого элемента КФС сравнивает его с прототипом благодаря наличию сенсоров (пятое действие). Возможны два варианта развития событий, если деталь не будет соответствовать шаблону: доработка до необходимого состояния или создание новой из другой заготовки.

Оператор, в свою очередь, также проверяет соответствие созданных компонентов заданным шаблонам. При возникновении любых ошибок или некорректного функционирования системы оператор имеет возможность остановить производственный процесс для устранения выявленных проблем.

Последним подпроцессом производства мебели является упаковка компонентов. Он начинается с создания инструкции по сборке, основанной на списке компонентов и описании прототипа. В соответствии с этой инструкцией, каждый созданный компонент получает соответствующую метку. В итоге получается готовый набор, состоящих из созданных компонентов и других элементов, полученных от сторонних КФС.

## Заключение

КФС имеют динамическую физическую архитектуру, которая изменяется в процессе функционирования системы путем добавления и замены различных электронных устройств и программного обеспечения. Трехуровневая физическая архитектура упрощает масштабирование системы при увеличении потока данных или вычислений.

Любой производственный процесс с участием КФС состоит из вышеизложенных шагов. Следовательно, можно предположить, что информационные системы, поддерживающие работу КФС, должны выполнять идентичные функции и иметь совпадающие параметры и возможности.

Дальнейшая работа заключается в создании диаграмм потоков данных в соответствии с представленной высокоуровневой моделью для определения параметров, критериев функционирования и информационных потоков в КФС.

## Список литературы

- [1] Rajkumar Ragunathan, Insup Lee, Lui Sha and John Stankovic, «Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution», Design Automation Conference, Proceedings of the 47th IEEE, Anaheim, USA, 2010, pp. 731–736, ISBN 978-1-4244-6677-1.
- [2] Jiafu Wan, Min Chen, Feng Xia, Di Li and Keliang Zhou, «From Machine-to-Machine Communications towards Cyber-Physical Systems», Computer Science and Information Systems, 2013, vol. 10, no. 3, pp. 1105–1128, ISSN 1820-0214.
- [3] Dietmar P.F. Moller, «Guide to Computing Fundamentals in Cyber-Physical Systems: Concepts, Design Methods, and Applications», Switzerland: Springer International Publishing, 2016, 422 p., ISBN 978-3-319-25178-3.
- [4] D.B. Work and A.M. Bayen, «Impacts of the Mobile Internet on Transportation Cyberphysical Systems: Traffic Monitoring using Smartphones», National Workshop for Research on High-Confidence Transportation Cyber-Physical System: Automotive, Aviation and Rail, Washington, 2008, 3 p.
- [5] Brent Kesler, «The Vulnerability of Nuclear Facilities to Cyber Attack», Strategic Insights, vol. 10, no. 1, 2005, pp. 15–25.
- [6] Jan Kleissl and Yuvraj Agarwal, «Cyber-physical energy systems: Focus on smart buildings», Design Automation Conference, 2010, pp. 749–754, ISBN 978-1-4503-0002-5.
- [7] Phu H. Nguyen, Shaukat Ali and Tao Yue, «Model-based security engineering for cyber-physical systems: A systematic mapping study», Information and Software Technology, vol. 83, 2016, pp. 116-135, ISSN 0950-5849.
- [8] Xiaoxue Liu, Jiexin Zhang and Peidong Zhu, «Modeling cyberphysical attacks based on probabilistic colored Petri nets and mixed-strategy game theory», International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2016, 32 p, in press.
- [9] Santiago Ruiz-Arenas, Imre Horvath, Eliab Z. Opiyo, Ricardo Mejia Gutierrez, «Dual-aspect model for failure forecasting in cyber-physical systems», Proceedings of TMCE, Budapest, Hungary, Ed. By I. Horvath, Z. Rusak, 2014, pp. 1473–1486, ISBN 978-94-6186-177-1.
- [10] Jinkyu Lee and Kang G. Shin, «Development and Use of a New Task Model for Cyber-Physical Systems: a Real-Time Scheduling Perspective», The Journal of Systems & Software, 2017, 14 p., in press.
- [11] Olivia Penas, Regis Plateaux, Stanislaw Patalano and Moncef Hammadi, «Multi-scale approach from mechatronic to Cyber-Physical Systems for the design of manufacturing systems», Comput. Industry, 2016, 18 p., in press.
- [12] Fatos Xhafa, «Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles and Applications», Ed. By Houbing Song, Danda B. Rawat, Sabina Jeschke, Christian Brecher, Elsevier, 484 p., ISBN 978-0-12-803801-7.

*Зырянов Дмитрий Николаевич — аспирант Восточно-Казахстанского  
государственного технического университета им. Д.Серикбаева;  
070003, Казахстан, Восточно-Казахстанская обл., г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева 19  
e-mail: dzyryanov@ektu.kz;*

*Денисова Наталья Федоровна — к.ф.-м.н., декан факультета информационных технологий  
и бизнеса; Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д.Серикбаева  
070003, Казахстан, Восточно-Казахстанская обл., г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева 19  
e-mail: ndenisova@ektu.kz.*

*Дата поступления — 31 мая 2017 г.*