

**КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ
ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**
**CYBERPHYSICAL SYSTEMS: COMPOSITION AND MAIN AREAS
OF APPLICATION**

Евдокимова С.А., к.т.н., доцент

Новикова Т.П., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

evdsv@mail.ru

Evdokimova S.A., CSc (Engineering), Associate Professor

Novikova T.P., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматриваются основные элементы киберфизических систем и их применение в различных отраслях промышленности. Показано, что киберфизические системы тесно взаимосвязаны с промышленным интернетом вещей, автоматизацией, искусственным интеллектом и обеспечивают повышение производительности, экономию ресурсов, безопасность и надежность.

Summary: The article discusses the main elements of cyber-physical systems and their application in various industries. It is shown that cyber-physical systems are closely interconnected with the industrial Internet of Things, automation, artificial intelligence and provide increased productivity, resource savings, security and reliability.

Ключевые слова: киберфизические системы, промышленный интернет вещей, искусственный интеллект, автоматизация производства, датчики.

Keywords: cyber-physical systems, industrial Internet of things, artificial intelligence, production automation, sensors.

Киберфизические промышленные системы (Cyber-Physical Systems, CPS или КФС) – это интегрированные системы, объединяющие физические процессы с вычислительными ресурсами и сетевыми технологиями. CPS состоят из совокупности цифровых, аналоговых, физических компонентов, искусственных систем, управляющих контроллеров, функционирующих в едином сетевом пространстве. Киберфизические системы объединяют производственные процессы, машины, оборудование и цифровые системы (системы управления, анализа данных, искусственного интеллекта).

Структура CPS состоит из множества взаимосвязанных элементов, основные из которых приведены в таблице 1 [1, 2].

Таблица 1 – Основные элементы структуры CPS

Наименование компонента	Примеры	Функции
Физические реальные объекты	Станки, роботы, автоматически управляемые тележки, различные механизмы	Выполняют конкретные действия в производственных процессах
Сенсорные устройства	Датчики движения, термометры, акустические сенсоры, камеры видеонаблюдения и т.д.	Обеспечивают сбор данных о состоянии физических объектов и происходящих процессах.
Вычислительные узлы	Микроконтроллеры, микрокомпьютеры (Raspberry Pi, Arduino), ПК и серверы и др.	Обработывают данные, выполняют задачи моделирования и управления.
Средства коммуникации	Коммуникационная сеть строится с использованием технологий передачи данных Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee) и протоколов промышленной автоматизации (Modbus, OPCUA).	Обеспечивают передачу данных в реальном времени и поддерживают синхронизацию всех элементов CPS
Программное обеспечение	SCADA-системы, системы симуляции и моделирования, программы контроля и обработки данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.	Обеспечивают работу CPS
Энергетические подсистемы	Электрические сети, аккумуляторы, батареи, солнечные панели, резервные источники питания и т.д.	Обеспечивают бесперебойную работу CPS

Продолжение таблицы 1

Наименование компонента	Примеры	Функции
Система безопасности CPS	Программные и программно-аппаратные средства	Ограничивают доступ, защищают от внешних воздействий, от хакерских атак, реализуют шифрование данных и т.п.
Системы поддержки жизненного цикла CPS	Программные подсистемы	Предназначены для поддержки процессов проектирования, разработки, тестирования, эксплуатации и модернизации CPS.

Обобщенная структура CPS показана на рисунке 1 [2].

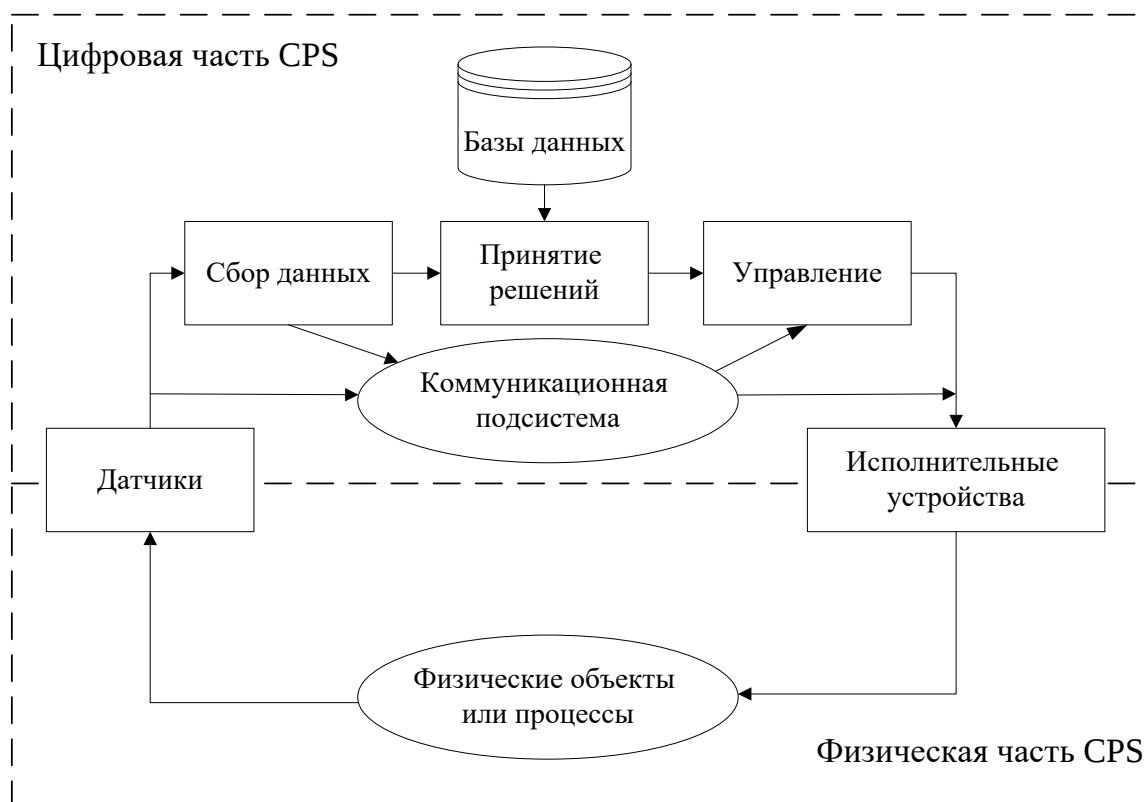


Рисунок 1 – Общая структура киберфизической системы

Основными областями применения CPS являются [3-13]:

1. Автоматизация производства – CPS обеспечивают синхронизацию работы машин и оборудования, мониторинг состояния производственных процессов и адаптацию их к изменениям в режиме реального времени, что помогает оптимизировать производство, снизить затраты и повысить качество продукции.

Например, роботы, управляемые CPS, могут адаптироваться к изменению условий на производстве и самостоятельно принимать решения на основе анализа данных. Промышленные машины могут автоматически корректировать параметры обработки деталей в зависимости от показаний сенсоров [3].

В работе [4] авторы разработали структуру CPS управления процессом зонного индукционного нагрева, который применяется при термической обработке металлических изделий.

2. Промышленный интернет вещей (IIoT) – с помощью интернета вещей устройства обмениваются данными между собой и системами управления, что позволяет осуществлять удаленный контроль над производственными объектами.

Например, датчики температуры, давления, вибрации могут передавать данные о состоянии оборудования в режиме реального времени, позволяя предотвратить поломки до их возникновения.

В работе [5] авторы провели исследование о роли датчиков при построении киберфизических систем, рассмотрели области применения и их преимущества. Датчики играют решающую роль для организации цифрового пространства для сбора и передачи данных, которые необходимы для мониторинга, контроля и оптимизации производственных процессов.

3. Умные фабрики (SmartFactory) – в такой фабрике все операции автоматизированы и координируются с использованием цифровых платформ.

Например, CPS могут управлять складскими роботами, которые перемещают материалы по производственной линии в зависимости от текущих потребностей и изменений в заказах.

Авторы [6] провели исследования по созданию «умного предприятия» приборостроительного производства, оснащенного киберфизическими системами, которые организуются на предприятии с помощью средств промышленного интернета вещей. Данные о состоянии технологического оборудования и выполнении операций передаются с помощью соответствующих датчиков встроенному контроллеру управления, который подключен к контроллеру интернета вещей.

В работе [7] авторы рассмотрели подход к созданию киберфизической платформы для производства полимерных изделий. Особенностью рассматриваемого технологического процесса является то, что использует быстрое изготовление сменных литьевых форм, требуемое в единичном и мелкосерийном производстве полимерных изделий. Данные, необходимые для производства, о

ресурсах и параметрах оборудования поступают в центральную систему и позволяют эффективно планировать реализацию малых серий изделий.

4. Энергетика и управление ресурсами – киберфизические системы помогают оптимизировать потребление энергии и управлять распределением ресурсов.

Например, умные сети электроснабжения используют данные о потреблении электроэнергии и предотвращения аварийных ситуаций, была построена киберфизическая система тягового электроснабжения [8].

В системах теплоснабжения датчики могут отслеживать температуру в зданиях и автоматически регулировать подачу тепла в зависимости от внешних погодных условий и внутренних потребностей.

В работе [9] авторы отмечают преимущества использования технологии «SmartGrid» при создании электросетей, к которым относятся повышение надежности и эффективности. Киберфизические системы в энергетике обеспечивают мониторинг системы управления процессами бесперебойной передачи электроэнергии. Структура предлагаемой CPS энергосистемы включает в себя Центр управления сетями, Диспетчерскую энергосбыта, Информационно-вычислительный и Измерительно-информационный комплексы. Для моделирования и прогнозирования объема энергопотребления использовались нейронные сети с обучением.

5. Транспортировка и логистика – CPS применяются в управлении цепочками поставок и транспортной инфраструктурой [10, 11].

Например, интеллектуальные транспортные системы помогают управлять движением транспорта, предотвращая пробки и аварии, а также повышают безопасность перевозок.

Дроны с поддержкой CPS могут доставлять грузы, ориентируясь на сигналы GPS, избегать столкновений благодаря датчикам расстояния.

В [10] показано, что на транспорте могут быть использованы КФС, мобильные устройства интернета вещей обеспечивают соединение в единую систему частей подвижного состава. Информационно-вычислительные сети подвижного состава объединяются в диспетчерскую службу, и организуется сеть состава.

6. Безопасность и защита – CPS могут контролировать доступ сотрудников, следить за состоянием окружающей среды и оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации.

Например, система видеонаблюдения с искусственным интеллектом может распознавать опасные ситуации и немедленно отправлять сигнал тревоги.

Авторы в работе [12] предложили киберфизическую систему для мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного типа. В структуре разработанной КФС использовались данные, полученные от различных устройств: датчиков, дронов, путем дистанционного зондирования и т.д. Вся информация собиралась и обрабатывалась в центре управления, применяя облачные вычисления. Для распознавания аэрокосмических изображений и принятия решения о чрезвычайной ситуации использовались методы сегментации, классификации, нечеткого вывода, прогнозирования и т.д.

7. Экологические технологии – CPS способствуют снижению воздействия промышленности на окружающую среду. Они позволяют минимизировать отходы, оптимизировать использование природных ресурсов и сократить выбросы вредных веществ.

Например, сенсоры на предприятиях химической промышленности могут измерять уровень выбросов загрязняющих веществ и автоматически корректировать производственные процессы для соответствия экологическим стандартам.

Авторы [13] предложили модель киберфизической системы для управления минимизацией загрязнений сточных вод, построенное на основе уравнений математической физики.

Таким образом, киберфизические системы используются в различных отраслях производства, обеспечивая повышение производительности работы оборудования, уменьшение времени простоя, быструю перенастройку производства под новые задачи, экономию энергоресурсов, снижение отходов, мониторинг состояния оборудования, автоматизацию рутинных операций и многое другое.

Список литературы

1. Плахотников, Д.П. Применение искусственного интеллекта в киберфизических системах / Д.П. Плахотников, Е.Е. Котова // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2020. – Т. 1. – С. 285-288.

2. Пешкин, К.С. Назначение и перспективы развития киберфизических систем управления технологическими процессами / К.С. Пешкин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2023. – Т. 31, № 1. – С. 47-59.

3. Евдокимова, С.А. Особенности интеллектуальной поддержки автоматизации производства / С. А. Евдокимова // Современные проблемы автоматизации, роботизации и управления в технических, организационных, экономических системах : материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых и Всероссийской научно-практической конференции преподавателей и специалистов, Воронеж, 26 и 29 марта 2024 г. – Воронеж, 2024. – С. 47-53.

4. Колпашиков, С.А. Разработка структуры киберфизической системы управления процессом зонного индукционного нагрева стальной заготовки / С.А. Колпашиков, К.С. Пешкин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2024. – Т. 32, № 3. – С. 63-80.

5. Абдрашитов, Р.Р. Компоненты киберфизических систем индустрии 4.0 и применение сенсорики в промышленном интернете вещей / Р.Р. Абдрашитов, В.Д. Забурдин, А.В. Шахомиров // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 3(37). – С. 71-84.

6. Организация цифровых производств Индустрии 4.0 на основе киберфизических систем и онтологий / А.В. Гурьянов, Д.А. Заколдаев, А.В. Шукалов [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 268-277.

7. Чукичев, А.В. Индустриальная киберфизическая платформа для единичного производства полимерных изделий / А.В. Чукичев, О.С. Тимофеева, Е.И. Яблочников // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 9. – С. 840-846.

8. Крюков, А. В. Моделирование электрических и тепловых режимов тяговых трансформаторов / А. В. Крюков, А. В. Черепанов, А. Е. Крюков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – С. 73–81.

9. Полуянович, Н.К. Киберфизическая система прогнозирования электропотребления атипичного вида на основе нейронной сети / Н.К. Полуянович, М.Н. Дубяго, О.В. Качелаев // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. - № 1. – С. 34-39.

10. Дзюба, Ю.В. Киберфизические системы в управлении транспортом / Ю.В. Дзюба, В.Я. Цветков, А.В. Козлов // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 1. – С. 10-12.

11. Козлов, А.В. Транспортные киберфизические системы как результат развития технологии интернета вещей / А.В. Козлов // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5, № 1 (17). – С. 11-21.

12. Ручкин, В.Н. Киберфизические технологии мониторинга чрезвычайных ситуаций / В.Н. Ручкин, Б.В. Костров, А.Н. Колесенков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 2. – С. 252-260.

13. Модели киберфизических систем управления минимизацией загрязнений для адаптации технологий к их источнику / Г.И. Коршунов, Р.И. Сольников, Н.А. Жильникова, С.Л. Поляков // Системный анализ в проектировании и управлении. – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 193-198.

References

1. Plakhotnikov, D.P. Application of artificial intelligence in cyberphysical systems / D.P. Plakhotnikov, E.E. Kotova // International Conference on Soft Computing and Measurements. – 2020. – Vol. 1. – Pp. 285-288.

2. Peshkin, K.S. Purpose and prospects of development of cyberphysical control systems for technological processes / K.S. Peshkin // Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical Sciences. – 2023. – Vol. 31, No. 1. – Pp. 47-59.

3. Evdokimova, S.A. Features of intellectual support for production automation / S. A. Evdokimova // Modern problems of automation, robotization and management in technical, organizational, and economic systems : proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists and the All-Russian Scientific and Practical Conference of Teachers and Specialists, Voronezh, March 26 and 29, 2024. – Voronezh, 2024. – Pp. 47-53.

4. Kolpashchikov, S.A. Development of the structure of a cyberphysical control system for the process of zone induction heating of a steel billet / S.A. Kolpashchikov, K.S. Peshkin // Bulletin of the Samara State Technical University. The series «Technical Sciences». – 2024. – Vol. 32, No. 3. – Pp. 63-80.

5. Abdrashitov, R.R. Components of cyber-physical systems of industry 4.0 and the use of sensors in the industrial Internet of Things / R.R. Abdrashitov, V.D. Zaburdin, A.V. Shakhomirov // System analysis and Logistics. – 2023. – № 3(37). – Pp. 71-84.

6. Organization of digital productions in Industry 4.0 based on cyberphysical systems and ontologies / A.V. Guryanov, D.A. Zakoldaev, A.V. Shukalov [et al.] //

Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2018. – Vol. 18, No. 2. – Pp. 268-277.

7. Chukichev, A.V. Industrial cyberphysical platform for the single production of polymer products / A.V. Chukichev, O.S. Timofeeva, E.I. Yablochnikov // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Instrument engineering*. – 2020. – Vol. 63, No. 9. – Pp. 840-846.

8. Kryukov, A.V. Modeling of electrical and thermal modes of traction transformers / A.V. Kryukov, A.V. Cherepanov, A. E. Kryukov // *Bulletin of the Rostov State University of Railway Communications*. – 2024. – No. 2. – Pp. 73-81.

9. Poluyanovich, N.K. Cyberphysical system for forecasting atypical electrical consumption based on a neural network / N.K. Poluyanovich, M.N. Dubyago, O.V. Kachelaev // *Mathematical methods in technology and engineering*. – 2024. – No. 1. – Pp. 34-39.

10. Dzyuba, Yu.V. Cyberphysical systems in transport management / Yu.V. Dzyuba, V.Ya. Tsvetkov, A.V. Kozlov // *Automation, communications, informatics*. – 2022. – No. 1. – Pp. 10-12.

11. Kozlov, A.V. Transport cyberphysical systems as a result of the development of the Internet of Things technology / A.V. Kozlov // *Science and technology of railways*. – 2021. – Vol. 5, No. 1 (17). – Pp. 11-21.

12. Ruchkin, V.N. Cyberphysical technologies for monitoring emergency situations. N. Ruchkin, B.V. Kostrov, A.N. Kolesenkov // *Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. - 2016. – No. 2. – Pp. 252-260.

13. Models of cyberphysical pollution minimization control systems for adapting technologies to their source / G.I. Korshunov, R.I. Solnitzev, N.A. Zhilnikova, S.L. Polyakov // *System analysis in design and management*. – 2021. – Vol. 25, No. 3. – Pp. 193-198.