

УДК 004.5

Исследование взаимодействий и функциональных особенностей компонентов интеллектуального контура управления

Ивченко Даниил Денисович

ivchenkodd@student.bmstu.ru

Горячкин Борис Сергеевич

bsgor@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу функциональной деятельности коммуникантов в интеллектуальных контурах управления (ИКУ), основанном на взаимодействии человека, искусственного интеллекта (ИИ) и машины. Рассматриваются функциональные и нефункциональные ограничения каждого из коммуникантов, их влияние на производительность и эффективность работы системы в целом. Основное внимание уделено тому, как ограничения этих элементов (когнитивные ограничения человека, вычислительные мощности ИИ и точность выполнения команд машин) определяют их роль в системе и способствуют выполнению задач в рамках ИКУ. Приводятся примеры нормативных стандартов, таких как ГОСТы и ISO, которые регулируют работу системы ИКУ. В статье анализируется, как функциональная деятельность системы вытекает из ограничений и требований, предъявляемых к каждому из элементов.

Ключевые слова: интеллектуальные контуры управления, ограничения, функциональная деятельность, искусственный интеллект, человек, машина, нормативные стандарты

Investigation of Interactions and Functional Characteristics of Components in Intelligent Control Systems

Ivchenko Daniil Denisovich

ivchenkodd@student.bmstu.ru

Goryachkin Boris Sergeevich

bsgor@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. This article discusses the functional activity of communicants in intelligent control systems (ICS), which involve the interaction of humans, artificial intelligence (AI), and machines. Both functional and non-functional limitations of each of these components are analyzed, as well as their impact on the overall performance and efficiency of the system. Special attention is given to exploring how various limitations (human cognitive abilities, computational power of AI, and machine command execution accuracy) shape the role of each element in the system and influence the successful execution of tasks within the ICL. Examples of regulatory standards, such as GOST and ISO, which govern the operation of intelligent systems, are provided. The article thoroughly examines how the functional activity of the system is determined by the limitations and requirements imposed on each of its components.

Keywords: Intelligent Control Systems, limitations, functional activity, artificial intelligence, human, machine, regulatory standards

Введение. Интеллектуальные контуры управления (ИКУ) представляют собой сложные системы, объединяющие три ключевых компонента: человека, искусственный интеллект (ИИ) и машины [1]. Эти элементы функционируют в тесной взаимосвязи, формируя систему, способную эффективно выполнять задачи, требующие аналитического подхода, физического исполнения и стратегического управления. Для понимания того, как ограничения и требования каждого из компонентов влияют на их взаимодействие, важно учитывать их функциональную деятельность, которая определяет общую продуктивность системы [2].

Сегодня ИКУ играют центральную роль в автоматизированных системах управления, находя применение в таких областях, как автономное вождение, робототехника, производственные процессы и другие направления, где требуется скоординированная работа человека, машин и ИИ. Анализ ограничений каждого элемента не только позволяет улучшить их взаимодействие, но и способствует повышению безопасности, продуктивности и точности работы системы.

В этой статье рассматриваются функциональные и нефункциональные ограничения каждого из компонентов ИКУ, включая человека, ИИ и машины. Также исследуется, как эти ограничения влияют на общую эффективность системы. Особое внимание уделено нормативным стандартам, таким как ГОСТ и ISO, которые регулируют ключевые аспекты работы ИКУ, обеспечивая их надежность и соответствие современным требованиям.

Материалы и методы. Структура интеллектуальных контуров управления (ИКУ) включает три ключевых компонента: человека, искусственный интеллект (ИИ) и машину [3], которые действуют в тесной синергии. Каждый из этих элементов выполняет свою уникальную задачу:

- человек — выполняет стратегическую функцию, принимая решения, контролируя работу системы и устанавливая общую стратегию функционирования ИКУ;
- ИИ — служит аналитиком, обрабатывая данные от человека и машины, чтобы предложить рекомендации и решения;
- машина — выполняет команды, полученные от ИИ или человека, обеспечивая физическую реализацию действий.

Каждый из компонентов ИКУ имеет свои уникальные ограничения и требования, которые формируют его возможности и оказывают влияние на общую функциональность системы. Эти компоненты могут быть разделены на три уровня: периферийные устройства, контроллеры и центральные модули. Каждый уровень выполняет специализированную роль, что способствует повышению эффективности взаимодействия и обеспечению устойчивости системы в условиях внешних изменений [4].

На первом уровне иерархии находятся периферийные устройства — сенсоры и актуаторы, которые непосредственно взаимодействуют с физическим миром. Сенсоры собирают информацию с объекта управления, а актуаторы осуществляют необходимые управляющие воздействия. Периферийные

устройства обеспечивают передачу данных и обратную связь, что позволяет системе быстро реагировать на изменения в параметрах объекта.

Контроллеры, расположенные на втором уровне, обеспечивают связующее звено между периферийными устройствами и центральными модулями. Они отвечают за локальную обработку данных, фильтрацию шумов и первичный анализ. Основная цель контроллеров — координировать взаимодействие сенсоров и актуаторов, что способствует минимизации времени отклика системы. Программируемые логические контроллеры (ПЛК), такие как Siemens S7, являются широко используемыми в производственных процессах.

На высшем уровне находятся центральные модули, которые осуществляют стратегическое управление системой. Они анализируют информацию, поступающую от контроллеров, и принимают решения для оптимизации работы системы в целом. Примером центрального модуля является система SCADA, которая интегрирует данные с контроллеров и предоставляет операторам актуальную информацию о текущем состоянии системы. Центральные модули активно используют адаптивные алгоритмы, нейросетевые модели и методы машинного обучения, что позволяет системе предсказывать изменения и предпринимать превентивные меры для предотвращения возможных сбоев (рис. 1).



Рис. 1. Иерархическая структура ИКУ

Понимание того, как ограничения каждого из этих элементов системы влияют на их функциональность, позволяет построить эффективные взаимодействия и оптимизировать работу всей системы в целом. Ограничения, накладываемые на компоненты системы ИКУ, можно разделить на два основных типа: функциональные и нефункциональные.

Результаты. Человек в системе ИКУ выполняет стратегическую роль, принимая решения, опираясь на информацию, получаемую от других компонентов системы. Однако его деятельность ограничена несколькими важными факторами, которые могут существенно повлиять на эффективность работы всей системы.

Одним из основных ограничений является когнитивная способность человека воспринимать и обрабатывать информацию [5]. Исследования показывают, что человек может одновременно обрабатывать лишь 7 ± 2 элемента в рабочей памяти [6]. Это ограничение создает трудности при работе с большими объемами данных, которые поступают от искусственного интеллекта и машины.

Кроме того, психологические и физические ограничения играют важную роль. Например, при высоком уровне стресса или информационной перегрузке точность принятия решений может снижаться на 20-30%. Это особенно критично в аварийных ситуациях или при работе с высокоскоростными системами, такими как автономное вождение, где каждая задержка в принятии решения может привести к опасным последствиям [7].

Также необходимо учитывать эргономические и регламентирующие требования. Для минимизации когнитивной нагрузки на человека в ИКУ используются интерфейсы человек-машина (HMI), которые должны соответствовать стандартам безопасности и удобства [8]. Например, ГОСТ 34.003-90 регулирует требования к эргономике интерфейсов и безопасности взаимодействия человека с автоматизированными системами. Важно также соблюдение стандартов качества, таких как ГОСТ Р ИСО 9001:2015, которые обеспечивают высокие стандарты работы человека в системе и помогают минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором.

Таким образом, функциональная деятельность человека в ИКУ обусловлена необходимостью взаимодействовать с системой в пределах этих ограничений, что требует оптимизации интерфейсов, улучшения качества предоставляемых данных и снижения когнитивной нагрузки (рис. 2).



Рис. 2. Функциональная деятельность человека в ИКУ

Обсуждение результатов. В системе ИКУ искусственный интеллект (ИИ) выполняет функцию аналитика, обрабатывая данные, полученные от машины и человека, и принимая на их основе решения [9]. Однако возможности ИИ ограничены качеством и объемом данных, на которых он обучается.

Одним из главных ограничений ИИ является его зависимость от данных. Для обучения ИИ необходимы точные и полные данные. Если данные неполные или искажены, точность принятия решений может значительно снизиться, иногда на 10–30 %. Это особенно важно для таких систем, как автономное вождение, где ошибки в данных могут привести к аварийным ситуациям.

Алгоритмические ограничения также играют свою роль. Современные модели ИИ, включая нейронные сети, требуют значительных вычислительных ресурсов для работы в реальном времени. Например, для обучения модели ResNet-50 необходимо использовать не менее 16–32 GB видеопамати и несколько тысяч процессорных ядер. Это налагает требования к использованию мощных вычислительных систем, таких как серверы с графическими процессорами (GPU) для обработки данных с высокой скоростью [10].

Кроме того, ИИ нуждается в вычислительных ресурсах, которые позволяют ему обрабатывать большие объемы данных за минимальное время. Например, система NVIDIA Xavier способна выполнять до 30 TOPS (триллионов операций в секунду), что необходимо для обработки данных с большого количества сенсоров в автономных транспортных средствах.

Нормативные требования также ограничивают функциональные возможности ИИ. Он должен соответствовать стандартам безопасности, таким как ISO 26262:2018, который регулирует безопасность автономных транспортных средств, обеспечивая точность и надежность работы в реальном времени.

Функциональная деятельность ИИ зависит от качества данных и вычислительных мощностей. Ограничения в этих областях влияют на способность ИИ эффективно анализировать данные, что в свою очередь определяет его способность принимать решения на основе этих данных. ИИ должен быть обучен на качественных данных и работать в условиях высоких вычислительных нагрузок, тогда внедрение интеллектуального элемента сможет повысить эффективность работы предприятия (рис. 3).



Рис. 3. Статистика роста эффективности при применении адаптивных алгоритмов

Машины, выполняя физическую работу, получают команды от человека или искусственного интеллекта и исполняют их в реальном времени. Однако, как и другие компоненты системы, они имеют свои ограничения, касающиеся вычислительных мощностей, точности исполнения команд и скорости обработки данных.

Одним из ключевых ограничений является потребность машин в вычислительных ресурсах. Например, автономные автомобили и роботы, работающие в реальном времени, должны иметь такую мощность, которая позволит им обрабатывать данные от 500-700 сенсоров одновременно.

Кроме того, машины должны обеспечивать высокую точность выполнения команд для гарантированной безопасности. В роботизированных системах, например, точность операций должна составлять не менее 99 %, чтобы избежать ошибок, которые могут привести к угрозам безопасности.

Нельзя забывать и об энергетических ограничениях. Автономные машины и транспортные средства обязаны работать в рамках заданных норм потребления энергии, что влияет на их надежность и эффективность. Например, системы автономных автомобилей должны обеспечивать энергопотребление не более 40 кВт в рабочем режиме [11].

Функциональная деятельность машин обусловлена необходимостью обеспечения точности выполнения команд и обработки больших объемов данных в реальном времени. Эти ограничения определяют, что машины в ИКУ должны быть оснащены мощными вычислительными системами, которые могут обеспечить такую производительность.

Заключение. Функциональная деятельность интеллектуальных контуров управления (ИКУ) напрямую зависит от ограничений, накладываемых на каждый из компонентов системы: человека, искусственный интеллект (ИИ) и машину. Эти ограничения — будь то когнитивные возможности человека, вычислительные ресурсы ИИ или точность и производительность машин — определяют, какие задачи могут быть решены эффективно и в какие сроки.

Человек ограничен в своей способности обрабатывать и интерпретировать большие объемы информации, что требует вовлечения ИИ, который, в свою очередь, ограничен качеством данных и вычислительными возможностями. Машины же имеют ограничения в вычислительной мощности и точности исполнения команд, что влияет на их производительность и надежность. Все эти ограничения подчеркивают важность согласованного взаимодействия компонентов ИКУ, в рамках которого каждый элемент выполняет свою роль в соответствии с собственными возможностями и ограничениями.

Таким образом, функциональная деятельность ИКУ всегда определяется ограничениями и требованиями, накладываемыми на его компоненты. Осознание этих ограничений позволяет эффективно проектировать и оптимизировать системы ИКУ, минимизируя риски и повышая их производительность, надежность и безопасность в целом.

Список источников

- [1] Горячкин Б.С., Гришин К.П. Анализ нормативно-правовых документов, регулирующих работу интеллектуального контура управления. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки*, 2024, № 06, с. 65–73.
- [2] Гришин К.П., Горячкин Б.С. Нормативное регулирование интеллектуального контура управления. *ИИАСУ'24 – Искусственный интеллект в автоматизированных системах управления и обработки данных. III Всерос. науч. конф: сб. ст.* Москва, ООО «Издательский дом КДУ», 2025, с. 330–336.
- [3] Горячкин Б.С. *Восприятие информации в контуре управления человеко-машинных систем.* Москва, Изд-во «Спутник +», 2024, 376 с.
- [4] Горячкин Б.С., Гришин К.П. Понятийный базис и специфика использования системы ИИ в контуре управления ИС. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*, 2024, № 7, с. 67–78.
- [5] Цибизова Т.Ю., Панилов П.А. *Когнитивное моделирование и системный анализ высокоинтеллектуальных систем.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, 116 с.
- [6] Горячкин Б.С., Королева Ю.П. Этические аспекты использования систем искусственного интеллекта. *Инженерный вестник Дона*, 2024, № 4 (112), с. 608–628.
- [7] Панилов П.А., Цибизова Т.Ю., Комардин М.А. Когнитивное моделирование и теория систем: новые подходы к описанию адаптивности и самоорганизации. *Русский инженер. III Междунар. конгресс: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 246–248.
- [8] Горячкин Б.С., Петренко А.С. Применение теории цепей Маркова для моделирования деятельности человека-оператора в контуре управления системы «человек-машина». *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки*, 2023, № 6, с. 76–82.
- [9] Ляпунцова Е.В. Когнитивная наука и искусственный интеллект. *Русский инженер. II Всерос. конгресс с междунар. уч.: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 282–284.
- [10] He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, с. 770–778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
- [11] Patel S. Energy Requirements in Autonomous Vehicles. *Energy Journal*, 2018, no. 25, pp. 102–112.