

УДК 004.89

Когнитивное моделирование в жизненном цикле данных интеллектуального контура управления

Горячкин Борис Сергеевич

bsgor@bmstu.ru

Гришин Кирилл Павлович

grishinkp@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В данной статье рассматривается применение когнитивного моделирования в жизненном цикле данных интеллектуального контура управления — замкнутой системы, включающей три ключевых компонента: человека-оператора, машину и интеллектуальную составляющую (ИИ). Особое внимание уделяется анализу параметров функций, требований и ограничений на каждом этапе жизненного цикла данных с целью выявления когнитивных закономерностей и оптимизации взаимодействия между участниками системы. Предложенный подход направлен на повышение эффективности интеллектуального контура управления через учет когнитивных ограничений человека, а также обеспечение сбалансированного распределения задач между человеком и ИИ. Детализация этапов жизненного цикла и внедрение методов когнитивного моделирования позволяет оптимизировать использование временных, технических и человеческих ресурсов, минимизировать когнитивные нагрузки и повысить общее качество проектирования, эксплуатации и дальнейшей модернизации систем.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, интеллектуальный контур управления, жизненный цикл, человек-оператор, искусственный интеллект, человеко-машинное взаимодействие

Cognitive modelling in the data life cycle and intelligent control loop

Goryachkin Boris Sergeevich

bsgor@bmstu.ru

Grishin Kirill Pavlovich

grishinkp@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. This article explores the application of cognitive modelling in the data life cycle of an intelligent control loop — a closed-loop system including three key components: human operator, machine and intelligent component (AI). Special attention is paid to the analysis of function parameters, requirements and constraints at each stage of the data lifecycle in order to identify cognitive patterns and optimise the interaction between the system participants. The proposed approach is aimed at increasing the efficiency of the intelligent control loop by taking into account human cognitive limitations, as well as providing a balanced distribution of tasks between humans and AI. Detailed elaboration of life cycle stages and implementation of cognitive modelling methods allows optimising the use of time, technical and human resources, minimising cognitive loads and improving the overall quality of system design, operation and further modernisation.

Keywords: cognitive modelling, intelligent control loop, life cycle, human-operator, artificial intelligence, human-machine interaction

Введение. Человеческий мозг является интересным объектом для науки. С одной стороны, он материален, а значит его возможно исследовать в физическом смысле, а с другой, он является по сути «черным ящиком», который не открывает свои секреты работы. По этой причине существует множество ученых из «нейро» областей — нейробиологии, нейропсихологии, нейролингвистики, пытающихся докопаться до истины того, как человек, например, принимает решения, каким образом из памяти слова преобразуются в речь и многое другое. Все это открывает пространство для исследования.

В свою очередь, одной из дисциплин, которая вобрала в себя все передовое из других (философии, искусственного интеллекта, психологии, лингвистики и др.) является когнитивная наука, т. е. «содружество наук, работающих совместно над исследованием одного объекта — человеческого познания» [1].

Также можно обратить внимание на использование когнитивного моделирования в различных областях [2, 3], таким образом делая вывод о необходимости в применении новых подходов для развития областей, технологий, связанных с человеком.

Целью данной статьи является формулирование подхода, позволяющего применить когнитивное моделирование к анализу жизненного цикла данных в интеллектуальном контуре управления. Такой подход направлен на оптимизацию взаимодействия между участниками системы, обеспечение точности и надежности обработки данных, а также снижение ошибок, вызванных когнитивными ограничениями.

Интеллектуальный контур управления. Предшественником интеллектуального контура управления можно считать эргатическую систему, т. е. замкнутую систему, в которой взаимодействие происходит между двумя субъектами — человеком и машиной [4]. Взаимодействие данных участников происходит при помощи различных органов управления (например, кнопки, клавиши, рычаги, сенсорный экран) с последующим ее обработкой человеком через экран, лампы, датчики и т. д. (рис. 1).

В свою очередь, под интеллектуальным контуром управления следует понимать замкнутую систему, состоящую из трех ключевых субъектов: человека-оператора, машины и интеллектуальной составляющей [4]. Последняя в свою очередь направлена на помощь человеку в решении задач, снятии рутинных, монотонных задач. Взаимодействие между этими компонентами также осуществляется посредством различных устройств ввода и вывода данных, таких как сенсоры, интерфейсы управления, панели мониторинга и аналитические системы (рис. 2).

В рамках рассмотрения данной статьи когнитивное моделирование представляет собой подход, направленный на изучение и воспроизведение процессов восприятия, анализа и принятия решений, характерных для человека.

В контексте интеллектуального контура управления это направление приобретает особую значимость, поскольку он является сложной системой, где взаимодействуют три субъекта: человек-оператор, машина и интеллектуальная составляющая и таким образом нуждается в анализе.



Рис. 1. Система типа «Человек-машина»



Рис. 2. Схема интеллектуального контура управления

Функции, требования и ограничения. Жизненный цикл данных в ИИ включает этапы, связанные с проектированием, сбором и обработкой данных, эксплуатацией и анализом системы, а также ее последующим обновлением или выводом из эксплуатации. Эти этапы возможно интерпретировать с точки зрения интеллектуального контура управления, где они отличаются многообразием когнитивных нагрузок на человека-оператора, включая восприятие информации, принятие решений и контроль работы искусственного интеллекта (далее ИИ).

В качестве основы был взят ГОСТ 70889–2023 «Информационные технологии. Искусственный интеллект. Структура жизненного цикла данных» [5], позволяющий детально визуализировать каждую стадию жизненного цикла данных (рис. 3). Подробная информация о каждом этапе представлена в табл. 1.

Как видно из схемы, в рамках жизненного цикла данных ИИ есть некоторый набор этапов, на которых необходимо выполнить те или иные задачи, действия, в зависимости от контекста.

Однако при анализе самого стандарта, а также самой схемы можно заметить, что в рамках рассмотрения интеллектуального контура управления, стадии (или этапы) не содержит четкое разграничение того, какие действия, задачи необходимо выполнять человеку, какие ресурсы, данные необходимы машине и т.д. Иными словами, неочевидно, какую роль играет человек, машина и интеллектуальная составляющая. Для их дальнейшего определения были выбраны некоторые параметры, по которым будет выполняться «стандартизация ролей», где в качестве критериев классификации были выбраны следующие:

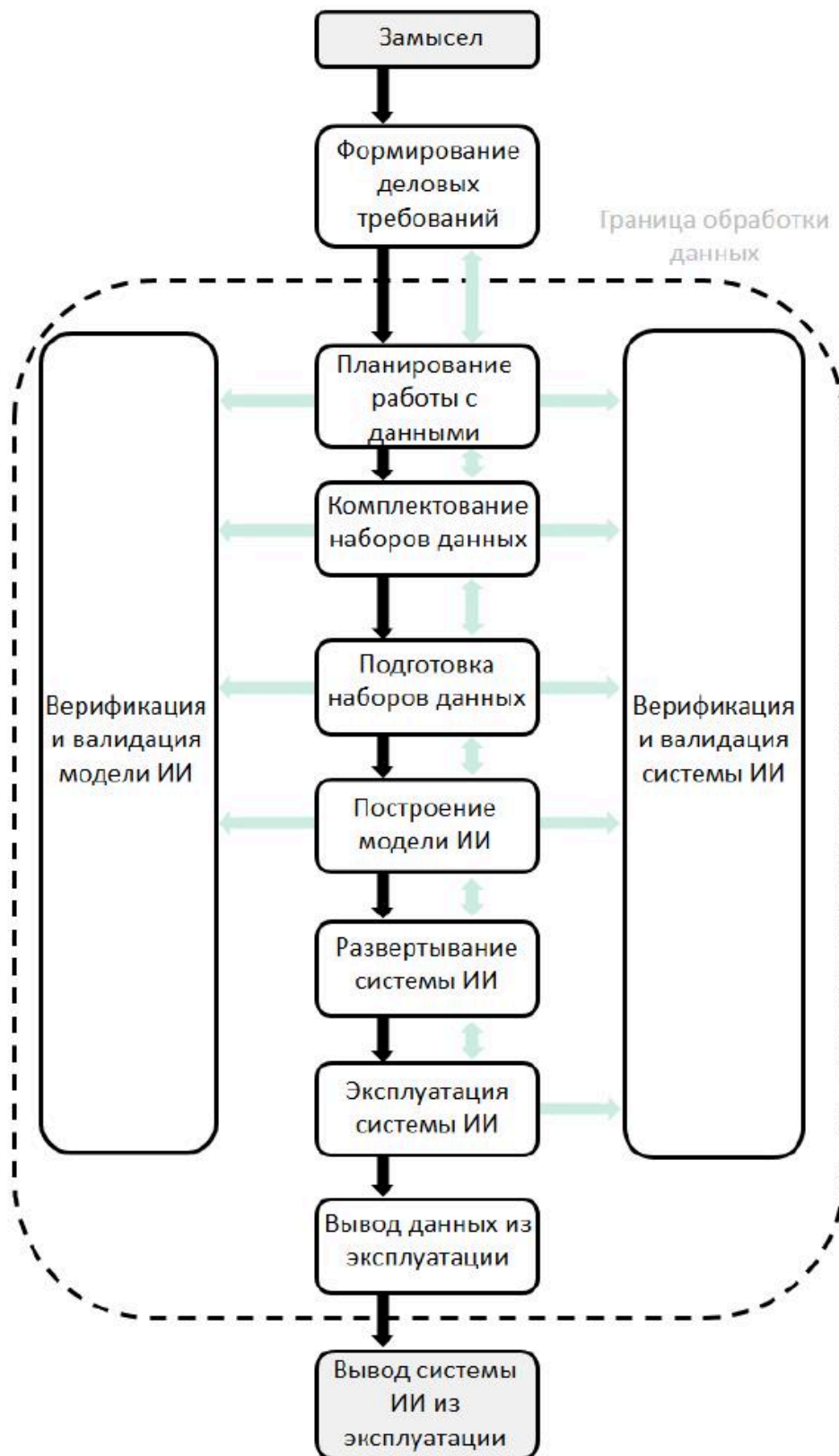


Рис. 3. Жизненный цикл системы данных ИИ

Таблица 1

Описание этапов жизненного цикла данных ИИ

Этап	Описание
Замысел	На этом этапе формулируется основная концепция системы ИИ. Здесь определяются цели разработки, ключевые задачи и ожидаемые результаты. Основной упор делается на определение бизнес-целей и области применения
Формирование деловых требований	Требования, предъявляемые к системе, определяются с точки зрения задач, которые она должна выполнять, и ограничений, связанных с ее использованием. Этот этап закладывает основу для проектирования системы
Планирование работы с данными	Выполнение анализа источников данных, их доступности, качества и пригодности для использования в обучении модели ИИ. Определяются функции подготовки и обработки данных, а также устанавливаются ограничения, связанные с их объемом, форматом и правовой защищенностью
Комплектация наборов данных	На данном этапе производится сбор данных, их систематизация и разделение на обучающие, тестовые и валидационные наборы. Ключевыми требованиями являются полнота данных и их репрезентативность, а ограничениями могут быть правовые аспекты или недоступность отдельных типов данных
Подготовка наборов данных	Выполнение очистки данных, устранения пропусков, нормализация и преобразование в пригодный для модели формат
Построение модели ИИ	На данном этапе разрабатывается и обучается модель ИИ. Функциональными критериями выступают архитектура модели, ее обучаемость и способность к обобщению. Ограничения касаются вычислительных ресурсов и времени обучения
Развертывание системы ИИ	Интеграция модели в целевую систему или среду. Основными требованиями являются надежность развертывания и минимизация ошибок в процессе интеграции
Эксплуатация системы ИИ	На данном этапе модель ИИ используется для решения задач в реальной среде
Вывод данных из эксплуатации	Здесь происходит, например, архивирование или удаление устаревших данных
Вывод системы ИИ из эксплуатации	Завершение жизненного цикла системы. Здесь обеспечивается демонтаж системы и, при необходимости, передача результатов ее работы другим системам

- функции — способности компонентов интеллектуального контура управления выполнять действия, необходимые для достижения цели;
- требования — нормативные положения (технические задания, стандарты и т. д.), определяющие соответствие системы, устройства или оператора установленным критериям;
- ограничения — условия или правила, ограничивающие выполнение функций из-за технических, временных или других факторов.

Таким образом, каждый из выбранных критериев должен составлять человеческую и машинную компоненты и выполняться в свою очередь на каждом этапе (рис. 4).



Рис. 4. Критерии этапов жизненного цикла

Несмотря на наличие трех субъектов в интеллектуальном контуре управления, машинная компонента, по факту, вбирает в себя и интеллектуальную. В свою очередь, примеры критериев человеческой и машинной компоненты представлены в табл. 2.

Можно заключить, что человеческий фактор является ключевым на протяжении всего процесса — от формирования идеи до завершения эксплуатации системы. Человек неизменно присутствует на каждом этапе жизненного цикла. Машинная составляющая, несмотря на свои преимущества в скорости и эффективности обработки данных, не играет роли на ранних и промежуточных этапах разработки. Однако ее значимость возрастает преимущественно на стадиях построения и эксплуатации системы ИИ (рис. 5).

Это объясняется отсутствием полноценной системы на ранних стадиях жизненного цикла (до этапа построения модели). В дальнейшем, такие этапы, как развертывание, вывод данных и завершение эксплуатации системы ИИ, в большинстве случаев находятся под контролем человека.

Таблица 2

Примеры критериев человеческой и машинной компоненты

Компонента	Пример этапа	Функции	Требования	Ограничения
Человеческая	Замысел	Составление идей, а также проблем и задач, которые возможно решить с помощью ИИ-продукта	Необходимо сравнить различные идеи по критериям, таким как ожидаемая польза, затраты, время реализации и доступные ресурсы	Оценка эффективности и сложности на этапе идеи может быть субъективной и неточной, что может привести к неверному выбору приоритетов и планов
Машинная	Эксплуатация системы ИИ	Анализ входных данных и использование обученной модели для генерации результатов в виде прогнозов, решений или других выходных данных	Наличие инструментов для постоянного мониторинга качества данных и работы модели	Невозможность использовать данные для дополнительного обучения, не удовлетворяющие требованиям, установленные на предыдущих этапах



Рис. 5. Этапы максимального раскрытия интеллектуальной составляющей

Когнитивное моделирование функций, требований и ограничений. Для анализа эффективности разделения на функции, требования и ограничения были предложены следующие ключевые параметры и формулы:

$$F_{\text{human}} = \frac{R}{L+1}, \quad (1)$$

$$F_{\text{machine}} = \frac{R}{L^2+1}, \quad (2)$$

где F_{human} — эффективность человеческой компоненты, F_{machine} — эффективность машинной компоненты.

Поскольку человек способен гибко адаптироваться к различным условиям, выполняемым задачам, ограничение L оказывает линейное влияние на эффективность.

В тоже время на машину L оказывает квадратичное влияние, так как при росте ограничений машины сталкиваются с экспоненциальным снижением производительности (например, из-за нехватки вычислительных ресурсов). Также, для сравнения человеческой и машинной эффективности используется разница:

$$\Delta F = F_{\text{machine}} - F_{\text{human}} = \frac{R}{L^2+1} - \frac{R}{L+1}. \quad (3)$$

Эта формула позволяет определить, какая из компонентов доминирует при заданных условиях:

$\Delta F > 0$ — эффективность человеческой компоненты,

$\Delta F < 0$ — эффективность машинной компоненты,

$\Delta F = 0$ — эффективность машинной компоненты.

При использовании базы знаний Wolframalpha [8], удалось достичь визуализации выше представленных формул (рис. 6–8).

Интерпретация результатов. Таким образом, можно сделать некоторые выводы.

1. При минимальных значениях L , машинная эффективность выше ($\Delta F > 0$). Например, при наличии качественных данных и достаточных вычислительных ресурсов, задачи анализа, классификации или прогнозирования будут выполняться наиболее эффективно.

2. При больших значениях L человеческая эффективность выше ($\Delta F < 0$). Это обусловлено способностью человека адаптироваться к новым ситуациям, применять креативное мышление и учитывать множество факторов, которые сложно формализовать (разработка новых концепций, принятия стратегических решений или управления проектом).

3. Пересечением ($\Delta F = 0$) являются точки равной эффективности, где можно использовать совместную работу обеих компонентов. Это создает возможности для их совместного использования, где сильные стороны одной компоненты компенсируют ограничения другой.

4. Формулы F_{human} и F_{machine} позволяют оценить, как задачи выполняются в зависимости от требований (R) и ограничений (L). Разность между функциями ($\Delta F = F_{\text{machine}} - F_{\text{human}}$) позволяет выявить области, где машинная составляющая демонстрирует превосходство над человеческой, а также те зоны, где доминирующую роль продолжает играть человеческий фактор.

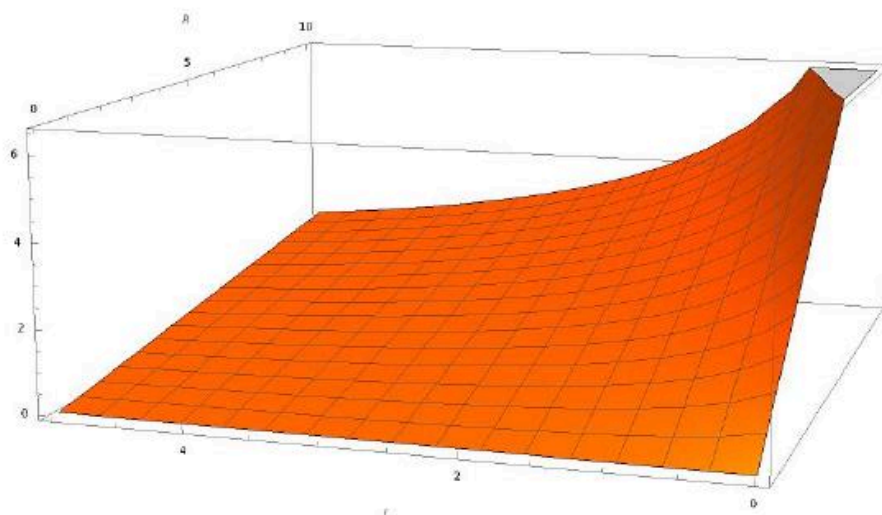


Рис. 6. Визуализация функции человеческой компоненты

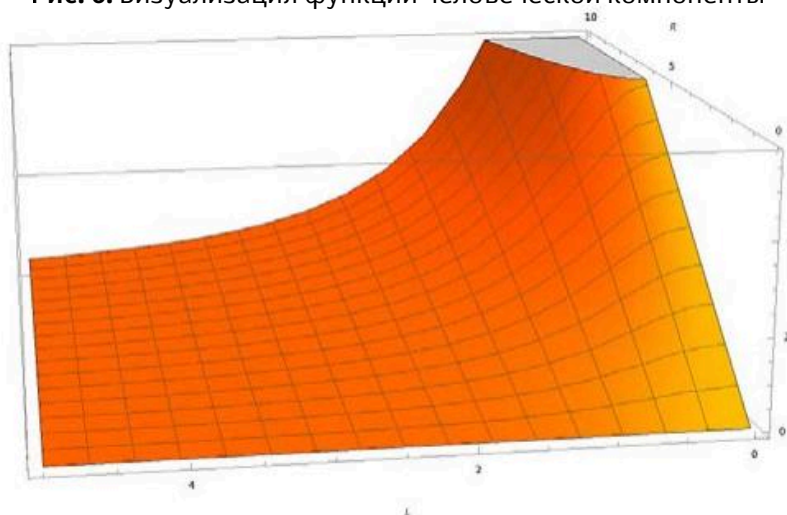


Рис. 7. Визуализация функции машинной компоненты

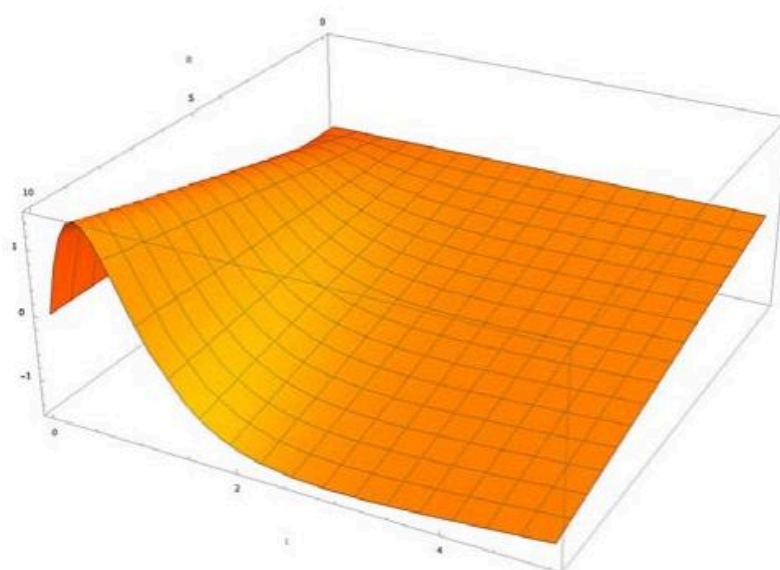


Рис. 8. Сравнение эффективности человеческой и машинной компоненты

Заключение. Таким образом, в данной работе был представлен подход к использованию когнитивного моделирования в жизненном цикле данных интеллектуального контура управления. Анализ этапов жизненного цикла через критерии функций, требований и ограничений позволил выявить ключевые закономерности взаимодействия между человеком, машинной (интеллектуальной составляющей) системы. Человеческая компонента остается критически важной на начальных стадиях (таких как формирование замысла и требований), тогда как интеллектуальная составляющая достигает максимальной эффективности на этапах построения и эксплуатации. Применение данного подхода потенциально возможно использовать для оптимизации временных, технических и человеческих ресурсов, а также минимизации когнитивных нагрузок, в перспективе обеспечивая сбалансированное и эффективное взаимодействие между всеми участниками системы.

Список источников

- [1] Богданова М.А. Когнитивная наука как успешный проект междисциплинарного синтеза наук. *Всерос. конф. по когнитивной науке КИСЭ-2017: матер.* Казань, Изд-во Казан. ун-та, 2017, 566 с.
- [2] Луценко Е.В., Лаптев В.Н., Сергеев А.Э. Л86 Системно-когнитивное моделирование в АПК. Краснодар, Экоинвест, 2018, 518 с.
- [3] Ajithbabu R., Krishnaranjani R., Rohith J., Kavileswarapu S., Siddharth, Nahar R. Modeling Cognitive System with Applied Machine learning in Additive Manufacturing using Fifth Generation Computer Systems. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 2115, art. no. 012033. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2115/1/012033>
- [4] 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. <https://doi.org/10.37882/2223-2966.2024.06.14>
- [5] ГОСТ Р 70889–2023 (ИСО/МЭК 8183:2023). *Информационные технологии. Искусственный интеллект. Структура жизненного цикла данных*. Москва, Российский институт стандартизации, 2023, 11 с.
- [6] Wolfram Cloud. URL: <https://www.wolframcloud.com/> (accessed 01.11.2024).