

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КОММУНИКАНТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ

SYSTEM ANALYSIS OF INTELLIGENT CONTROL LOOP COMMUNICATORS

B. Goryachkin
K. Grishin

Summary. Problem Statement. The sphere of information technologies has recently influenced many spheres — healthcare, construction, transportation, security, industry and others. Nowadays it is possible to use advanced developments in the field of machine learning, artificial intelligence (hereinafter AI) in order to increase efficiency, optimize various (including time) resources when performing various tasks.

When considering the control loop, which involves two subjects (human operator and machine), the question is raised about the possibility of using AI technologies in this context. In turn, the integration and, as a consequence, the unification of all three subjects («Human Operator — Machine — AI») allows us to talk about the «interactualization» of the control loop. At the same time, some questions arise related to the delimitation of «duties» of each subject of the intelligent control loop (hereinafter ICL), i.e. where the activity of one subject starts, what is necessary for it, how it will be performed.

Within the framework of this article the concept of the intellectual control loop, its structure are formulated, the parameters of functions, requirements and limitations related to the subjects of the ICL on the basis of the stages of the model of the life cycle of the AI data, to perform effective planning, design, development and further operation of the AI system are defined.

Purpose. To consider the structure of the intelligent control loop, essential parameters in the form of functions, requirements and constraints on the example of the AI data life cycle, to perform on their basis visualization and interpret the results of the influence of characteristics on the interaction of human-operator and machine component.

Results. The ICL parameters in the form of functions, requirements and constraints in the context of stages of the AI data life cycle are formulated. It is concluded that the human component fully participates in the ICL at all stages, the machine component functions only at the stages of construction and operation of the AI system.

Practical significance. This article could potentially be used as a basis for the creation of the ICL, as well as various standards, unifying provisions governing its operation.

Keywords: intelligent control loop, artificial intelligence, ergatic system, human-machine system, data lifecycle, functions, requirements and limitations.

Горячkin Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru

Гришин Кирилл Павлович
аспирант, Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
kirillgrish2014@yandex.ru

Annotation. Постановка проблемы. Сфера информационных технологий за последнее время оказала влияние на множество сфер — здравоохранение, строительство, транспорт, безопасность, промышленность и др. В настоящее время представляется возможным использовать передовые разработки в области машинного обучения, искусственного интеллекта (далее ИИ) с целью повышения эффективности, оптимизации различных (в т.ч. временных) ресурсов при выполнении различных задач.

При рассмотрении контура управления, в котором фигурирует два субъекта (человек-оператор и машина) ставится вопрос о возможности использования технологий ИИ в данном контексте. В свою очередь интеграция, и как следствие, объединение всех трех субъектов («Человек оператор — Машина — ИИ»), позволяет вести речь об «интеллектуализации» контура управления. Вместе с тем возникают некоторые вопросы, связанные с разграничением «обязанностей» каждого субъекта интеллектуального контура управления (далее ИКУ), т.е. где начинается деятельность одного субъекта, что для этого необходимо, каким образом она будет выполняться.

В рамках данной статьи сформулировано понятие интеллектуального контура управления, его структура, определены параметры функций, требований и ограничений, относящиеся к субъектам ИКУ на основе этапов модели жизненного цикла данных ИИ, для выполнения эффективного планирования, проектирования, разработки и дальнейшей эксплуатации системы ИИ.

Цель. Рассмотреть структуру интеллектуального контура управления, существенные параметры в виде функций, требований и ограничений на примере жизненного цикла данных ИИ, выполнить на их основе визуализацию и интерпретировать результаты влияния характеристик на взаимодействие человека — оператора и машинной компоненты.

Результаты. Сформулированы параметры ИКУ в виде функций, требований и ограничений в контексте этапов жизненного цикла данных ИИ. Сделан вывод о полноценном принятии участия человеческой компоненты в ИКУ на всех этапах, машинная составляющая функционирует лишь на этапах построения и эксплуатации системы ИИ.

Практическая значимость. Данную статью потенциально возможно использовать в качестве основы для создания ИКУ, а также различных стандартов, унифицирующих положений, регулирующих его работу.

Ключевые слова: интеллектуальный контур управления, искусственный интеллект, эргатическая система, система «человек — машина», жизненный цикл данных, функции, требования и ограничения.

Введение

Человек на протяжении всей истории так или иначе создавал различные инструменты, орудия труда или выполнял улучшение уже существующих. В свою очередь это постоянно двигало технологический прогресс вперед, позволяя совершенствовать те или иные области, начиная от медицины, и заканчивая транспортом [10–14]. В силу активного развития технологий т.н. искусственного интеллекта (далее ИИ) представляется возможным их внедрение в этих и других сферах, снимая излишнюю нагрузку на человека, оптимизируя время и объем выполнения той или иной задачи.

В контексте производственной сферы, невозможно полностью исключить совершение ошибки человеком в какой-либо операции в момент взаимодействия с оборудованием, устройством. Одним из возможных вариантов решения или способов минимизации издержек является внедрение в подобную систему «Человек — машина» (или эргатическая система) интеллектуальной составляющей, выполняющая функции по поддержке человека-оператора, например, при принятии решения, выполнения расчетов и с выводом вероятности наступления того или иного события и т.д. Такую систему состоящую из трех субъектов возможно обозначить как интеллектуальный контур управления (далее ИКУ), требующий детального рассмотрения. Ключевым здесь является обозначение тех или иных характеристик, параметров, на основе которых будет строится сама модель, на каких этапах будет решаться та или иная задача, а также какие конкретно необходимо решать человеку, а какие машинной составляющей [15].

Контур управления и интеллектуальная компонента

Человечество всегда стремилось оптимизировать свою деятельность, сделать её более эффективной. Активное развитие научно-технического прогресса позволяет использовать передовые технологии, инструменты, которые человек адаптирует в конкретно необходимой ему области.

В сфере, где существуют те или иные технологические процессы, производственная составляющая, необходим особый подход, снижающий риск возникновения ошибки, способной повлечь за собой как материальные издержки организации, так и возможное причинение вреда здоровью человека. Кроме этого, есть необходимость в оптимизации некоторых процессов, влияющих на конечный результат работы человека (общая утомляемость, скорость реакции и т.д.).

В подобном контексте, как правило, взаимодействие осуществляется между человеком-оператором и раз-

личным производственным оборудованием. Такую систему возможно обозначить как эргатическую, состоящую, по сути, из двух субъектов, взаимодействие которых происходит путем использования органов управления (устройств ввода/вывода информации), для выполнения трудовой деятельности (рис. 1):

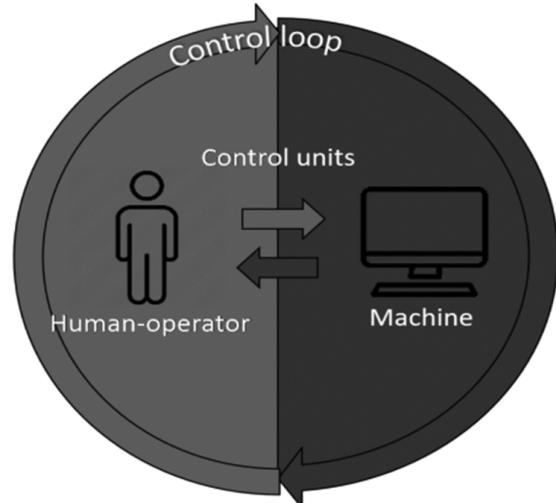


Рис. 1. Взаимосвязь системы «человек-машина»

Исходя из этого возможно сформулировать определение управлеченческого решения или волевого акта субъекта управления, «в результате которого делается выбор вида и способа коррекции определенных условий и обстоятельств, осуществляемый с целью сформировать определенную модель поведения человека (людей), включаемого в управлеченческие отношения» [7]. В контексте контура управления, человек–оператор по сути является инициатором и таким образом, являясь субъектом управлеченческого решения, способен влиять на механизмы, оборудование, или любой другой объект в его воспринимаемом информационном поле. Поскольку человек помимо взаимодействия с другими людьми, может использовать различные устройства, оборудование для выполнения трудовых функций, то очевиден факт подверженности к некоторым ограничениям, относящихся к самому человеку. Например, физиологические, психологические (достижения верхней границы предела выносливости, стрессоустойчивости, способности к обучению), антропометрические (требования, предъявляемые к рабочим положениям (например стоя)), длительность пребывания в таких положениях, а также к размеру и форме рабочей одежды), пищевые (необходимость в поддержании определенного уровня потребления пищи и воды), клинические (ограничения, связанные с возрастными особенностями, наличием тех или иных заболеваний) и др.

С точки зрения ограничений машины, к ней возможно отнести непригодность проекта изготовления системы, конструкции, материалов, используемых при сборке, неточность отображения тех или иных параметров и др.

В свою очередь, путем добавления «интеллектуальной» составляющей в контур управления, возможно частично уменьшить или вовсе нивелировать ограничения, относящиеся к самому человеку. Подобную систему, состоящую из трех субъектов («Человек — Машина — ИИ») возможно обозначить как ИКУ, или трёхкомпонентную систему, в которой новая составляющая способна выступать в роли «партнера» или «помощника», способного выполнять требуемые от него операции, функции (рис. 2, 3).

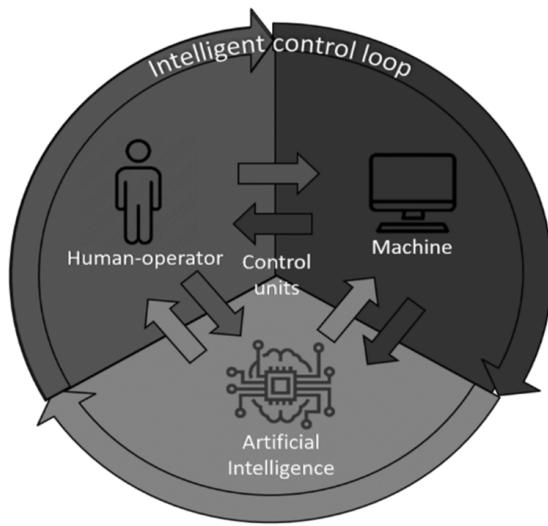


Рис. 2. Взаимосвязь системы «человек-машина — ИИ»

Поскольку понятие ИИ является обширным, в рамках данной статьи используется определение ГОСТ Р 59276-2020 «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения» [1], а именно «способность технической системы имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека». Исходя из этого, можно сделать вывод, что подобную «умную» компоненту можно отнести не только к интеллектуальной информационной системе [8], выполняющую ту или иную интеллектуальную задачу или использующая различные методы ИИ, но и также к субъекту управляемого решения.

Параметры функций, требований и ограничений в рамках ИКУ

Активное распространение технологий ИИ закономерно порождает необходимость регулирования со стороны юридических, технических, этических норм и т.д. Поскольку данная сфера развивается стремительно, само регулирование норм является следствием, не успевая за текущими тенденциями. Тем не менее, регулирование технологий ИИ находят свое отражение в различных технических стандартах, например, обеспечение доверия, оценки качества систем [2], структуры

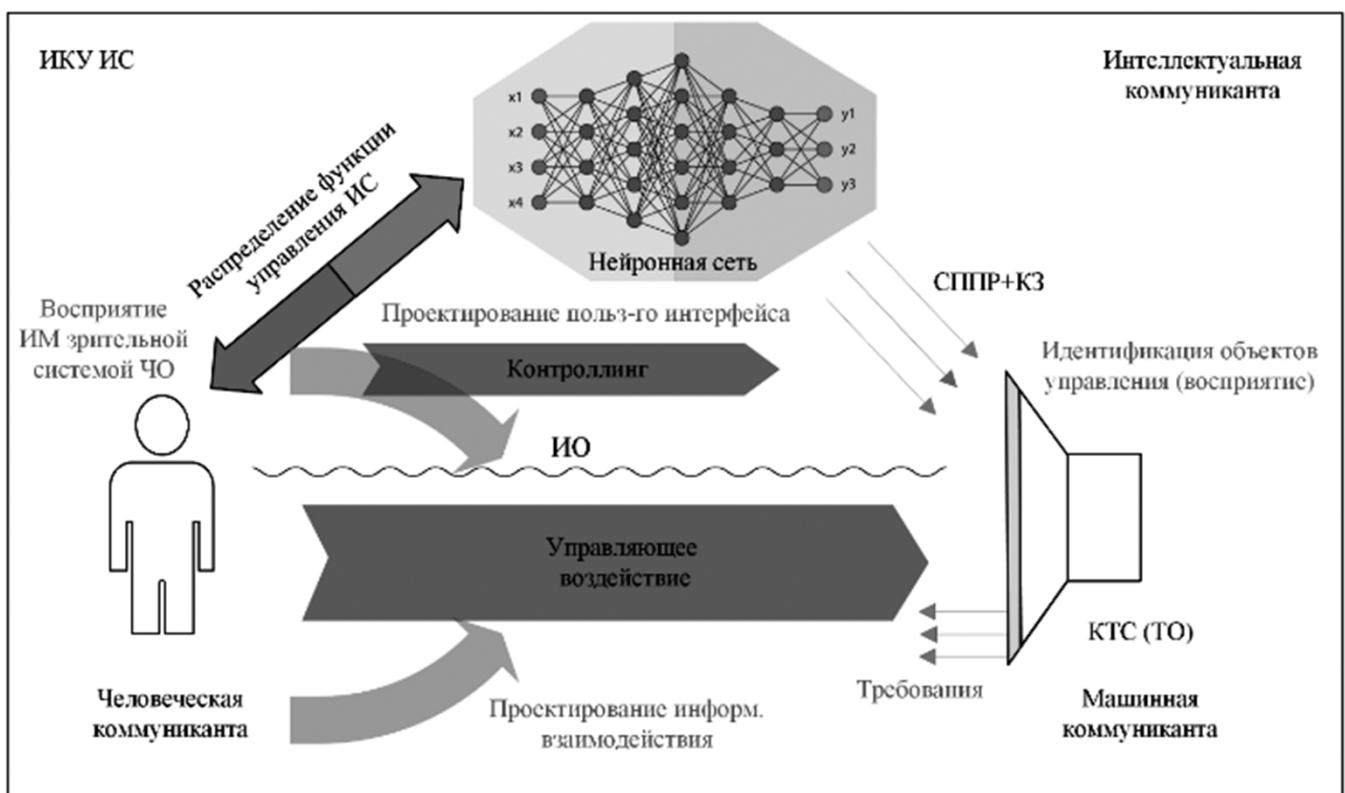


Рис. 3. Взаимосвязь системы «человек-машина — ИИ»

описания систем ИИ [3], их классификации [4], смещённости [5] и др.

При рассмотрении их с точки зрения применимости в ИКУ, становится очевидно, что они не раскрывают необходимые аспекты, заложенные в контур управления. Другими словами, отсутствуют четкие дефиниции, характеристики, конкретные задачи, требуемые от человека и машины в контексте их взаимодействия в контуре управления, а именно отсутствие дефиниций «распределения ролей» в ИКУ.

Частично эти ответы сформулированы [9] и представлены в виде рекомендательных положений, которым должен соответствовать ИКУ (соответствие моральным, этическим, техническим и другим положениям).

В качестве основы для обозначения человеческой и машинной компоненты был задействован ГОСТ 70889-2023 «Информационные технологии. Искусственный интеллект. Структура жизненного цикла данных» [6]. В его рамках заложены последовательные этапы, через которые проходит система ИИ (рис. 4).

Однонаправленные стрелки указывают на прямой путь при разработке, в то время как двунаправленные обозначают возможность обратного взаимодействия. При этом, в границах обработки данных практически каждый из этапов жизненного цикла проходит через процессы верификации и валидации модели, системы ИИ.

Вышеуказанный стандарт содержит некоторую детализацию того или иного этапа, какие действия, задачи необходимо выполнить на каждом из них. Однако, при рассмотрении его с точки зрения ИКУ, становится неочевидно как их применить при наличии трех субъектов. С целью дальнейшего определения «ролей» компонент были сформулированы некоторые дефиниции, используемые для их «стандартизации»:

- 1) Требования — параметры, соответствующие некоторым заданным положениям, относимые к информационной системе, техническому устройству или человеку-оператору.
- 2) Функции — характеристика, обозначающая выполнение того или иного действия, необходимого для решения поставленной задачи. К субъектам выполнения подобных действий следует также отнести все компоненты в интеллектуальном контуре управления.
- 3) Ограничения — некоторый параметр (положение или правило), отвечающее за невозможность или нежелательность реализации тех или иных действий (функций), а также технические, временные или иные издержки.

В свою очередь, каждый из компонент содержит набор из трех параметров на каждом этапе жизненного цикла ИИ (рис. 5–7).

Таким образом, возможно сделать следующие выводы. При рассмотрении параметра функций, важно подчеркнуть главенство человеческой компоненты, поскольку она является необходимым (и по сути единственным) звеном по выбору цели, плана, структуры создаваемого проекта и т.д. По сути, задействовав абстрактное мышление, целеполагание, человек интерпретирует задуманное и претворяет в реальной действительности в виде конечного результата деятельности в виде конечного проекта, продукта. Также следует отметить первостепенность функций, т.е. именно из них должны проектироваться остальные параметры (требования и ограничения).

При рассмотрении требований, следует обратить внимание на то, какими технологиями, знаниями предметной области необходимо владеть для реализации продукта. Также важно учитывать соответствие этическим и нормативным нормам (какие данные необходимо использовать в выборке во избежание ущемления той или иной группы людей, соответствие технического задания с итоговым продуктом, проектом).

В параметр ограничений в контексте человеческой компоненты можно отнести потенциальное совершение ошибки в ходе рабочего процесса (невнимательность, неправильная интерпретация промежуточных результатов), временной параметр (например, ограниченное количество времени для выполнения интеллектуальной деятельности) и др.

Поскольку машинная компонента способна кратно больше выполнить вычислительных операций с учетом сохранения скорости обработки данных, то целесообразно её задействование в качестве основного инструмента (субъекта), закрывающего пробелы человеческой компоненты.

Требования к данной компоненте могут быть выражены в необходимости поддерживать некоторый уровень производительности, стабильности при выполнении вычислительных задач, которые возможно корректировать со стороны главенствующей компоненты, т.е. человека.

В свою очередь, если рассматривать «машину» (модель ИИ) с точки зрения параметра ограничений, то примером таких может выступать недостаточная гибкость или труднозатратность в перестройке (переобучении) модели под новые условия. Так, например, модель, обученная для оптического распознавания символов, будет хуже справляться с работой, если её поместили в контекст решения задачи, к которым она не была из-

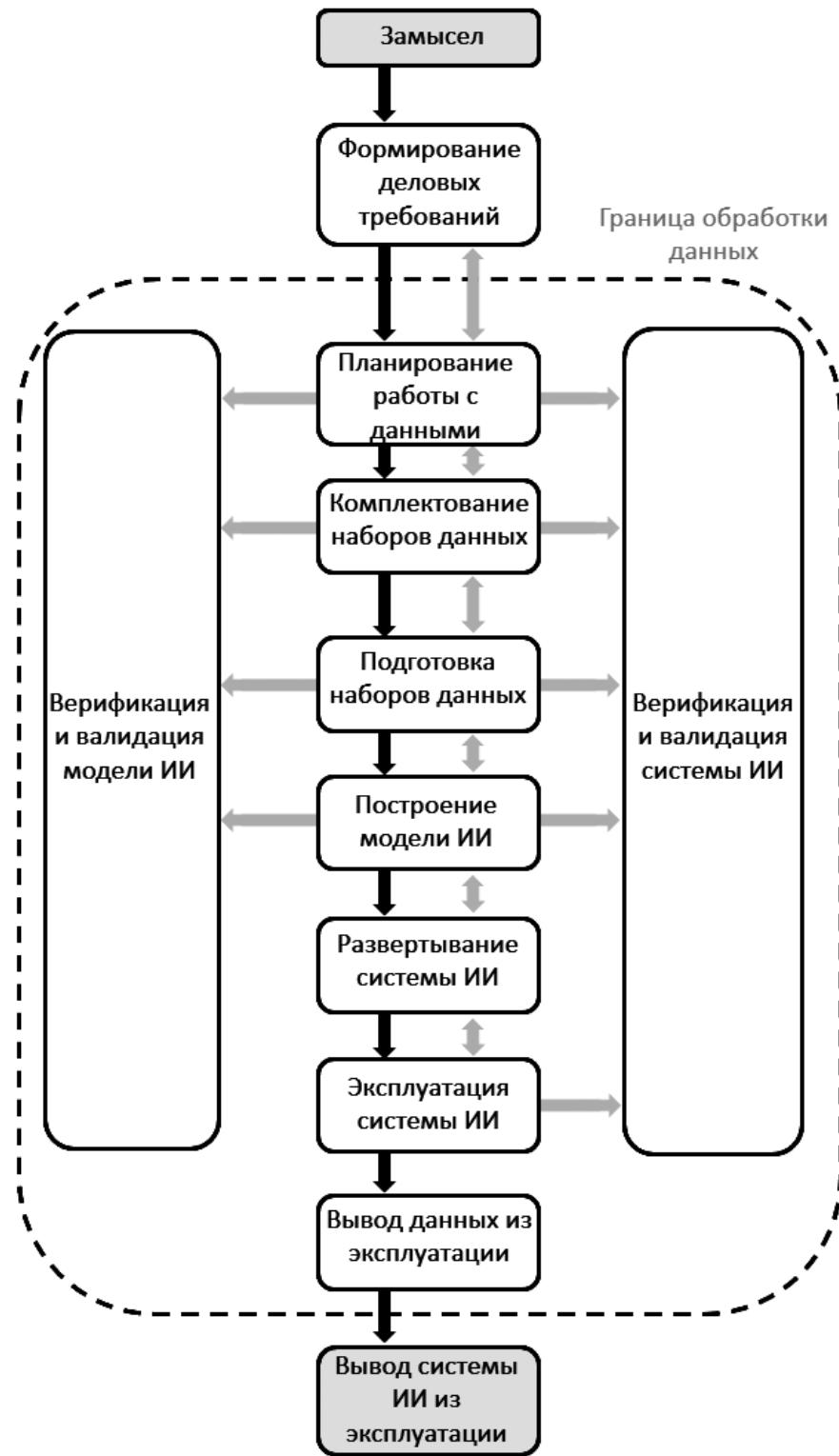


Рис. 4. Жизненный цикл системы ИИ

начально готова. Примером подобного может выступать задача по определению человека или животного на изображении, где распознаваемые объекты (а как следствие и признаки этих объектов) отличаются от первоначальных (т.е. символов).

В тоже время, в силу особенностей самих субъектов (компонентов), тот или иной этап может отличаться по заложенным критериям (характеристикам) на каждом этапе жизненного цикла. Кроме этого, «участие» компонент от этапа к этапу может отличаться. Так, если рассматривать компоненту человека, то очевидно его

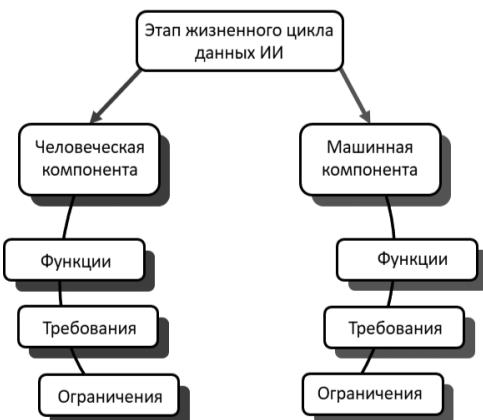


Рис. 5. Детализация этапа и её компонентов

присутствие на каждом из этапов, начиная от разработки идеи, концепций, выполнения организационных и иных задач на первых этапах, и заканчивая этапом выведения системы, данных из эксплуатации. В свою очередь, «машина», или её завершенный, «окончательный» вариант в виде полноценной системы ИИ, по большому счету осуществляет «полезную» нагрузку лишь на этапах построения модели и её эксплуатации (см. рис. 8).

Подобное функциональное распределение связано с отсутствием модели (системы), вплоть до этапа построения самой модели. Различные этапы, например, выполнение действий по развертыванию системы, вывод данных и самой системы ИИ из эксплуатации должен



Рис. 6. Пример детализации этапа «Замысел» для человеческой компоненты



Рис. 7. Пример детализации этапа «Эксплуатации системы ИИ» для машинной компоненты

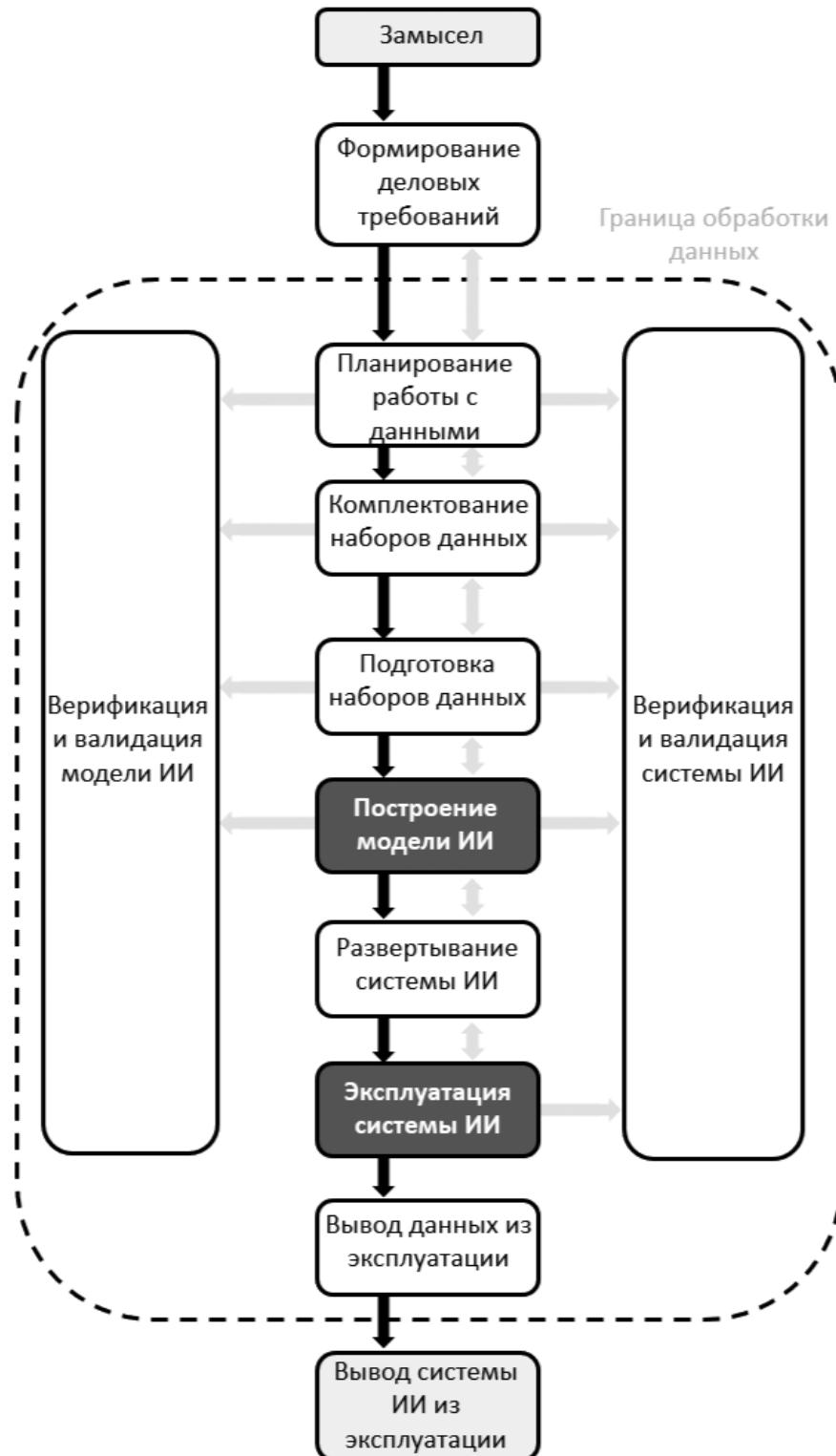


Рис. 8. Пример детализации этапов машинной компоненты

принимать именно человек. В качестве ключевых параметров и формул для анализа эффективности разделения на функции, требования и ограничения, были сформулированы следующие:

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

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

где R, L — параметры требований и ограничений; $F_{human}, F_{machine}$ — эффективность человеческой и машинной компоненты;

Ограничения будут по-разному влиять на эффективность компонент. Пусть для человека ограничения линейны, поскольку люди имеют заложенную способность к адаптации к непредсказуемым, непредвиденным условиям. В свою очередь на машинную компоненту ограничения оказывают квадратичное влияние, поскольку это обусловлено нелинейной деградацией производительности в силу растущих внутренних и внешних «потребностей» системы. Например, высокая вычислительная нагрузка на процессор, память, сетевая задержка при передаче информации, особенность архитектуры программного обеспечения влияет на скорость выполнения необходимых функций, тем самым система становится менее адаптивной и устойчивой. По этой причине, в условиях возрастания ограничений, был выбран квадратичный характер модели, отражающий эффект снижения производительности, по сути, в виде каскада. Для сравнения и определения компонент в заданных условиях используется разница:

$$\Delta F = F_{\text{Machine}} - F_{\text{Human}} \quad (3)$$

Ее использование позволяет определить «доминирующие» компоненты при заданных условиях. Например, при $\Delta F > 0$ машина будет эффективнее; в свою очередь при $\Delta F < 0$ человек эффективнее, а при $\Delta F = 0$ эффективность будет равная.

С целью визуализации вышеперечисленных формул была использована вопросно-ответная система [16] Wolframalpha (рис. 9–11):

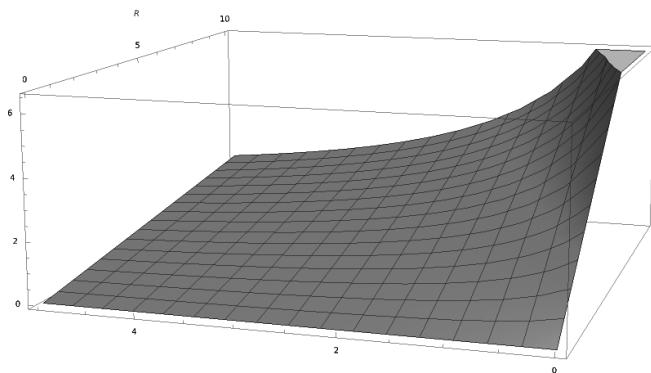


Рис. 9. Визуализация функции человеческой компоненты

На примере этапа эксплуатации системы у человеческой и машинной компоненты был выбран перечень параметров, переведенный в численное значение для выполнения расчетов (рис. 6, 7).

Для упрощения вычислений, каждый параметр компоненты обозначен единицей, в свою очередь сумма каждого параметра равна пяти. Определив значения, становится возможным выполнить подстановку значений в формулы для человеческой компоненты:

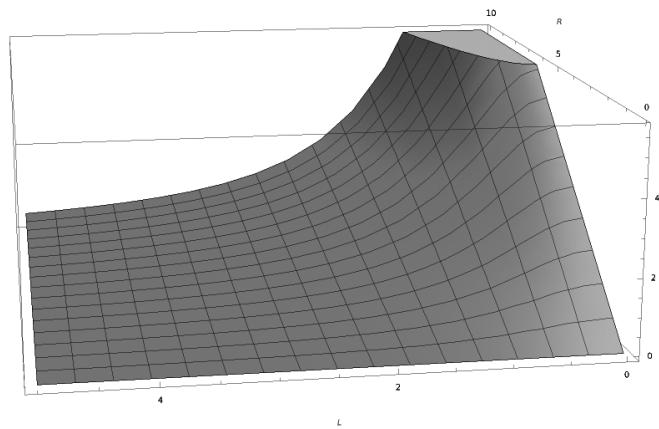


Рис. 10. Визуализация функции машинной компоненты

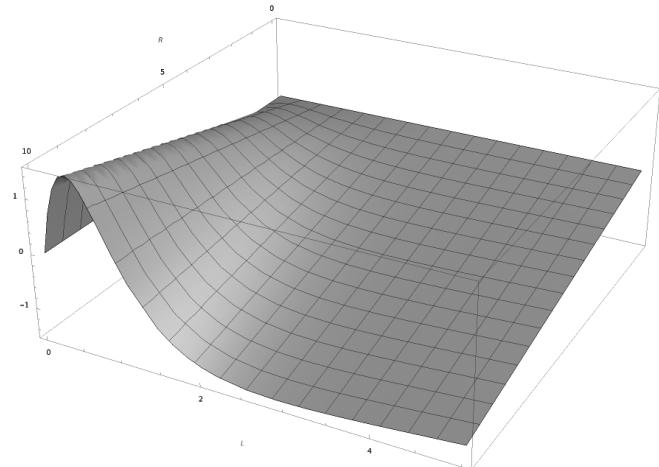


Рис. 11. Визуализация сравнения эффективности человеческой и машинной компоненты

$$F_{\text{Human}} = \frac{Rh_{\text{uman}}}{Lh_{\text{uman}} + 1} \quad (4)$$

$$F_{\text{Human}} = \frac{5}{5 + 1} = \frac{5}{6} \approx 0,83 \quad (5)$$

Результат вычислений машинной компоненты:

$$F_{\text{Machine}} = \frac{Rh_{\text{uman}}}{L^2_{\text{Machine}} + 1} \quad (6)$$

$$F_{\text{Machine}} = \frac{5}{5^2 + 1} = \frac{5}{26} \approx 0,19 \quad (7)$$

Разница между человеческой и машинной компонентой:

$$\Delta F = F_{\text{Machine}} - F_{\text{Human}} \quad (8)$$

$$\Delta F = 0,19 - 0,83 = -0,64 \quad (9)$$

Таким образом, можно сделать вывод о эффективном выполнении задач человеком при заданных параметрах, в отличии от машинной компоненты. Тем не менее, данные параметры могут быть иными. В зависимости от ситуации, некоторыми ограничениями возможно

пренебречь, тем самым в последующем при вычислении получить большую производительность, например, машинной компоненты:

$$F_{\text{Machine}} = \frac{5}{3^2 + 1} = \frac{5}{10} \approx 0,5 \quad (10)$$

$$\Delta F = 0,5 - 0,83 = -0,33 \quad (11)$$

Заключение

Участие, а также раскрытие функционала машинной компоненты обозначено лишь в нескольких этапах (построение модели и эксплуатации системы ИИ), что

указывает на прямую зависимость от деятельности человеческой компоненты на иных стадиях. Главенство принятия решений, выполнения ключевых действий все также остается за самим человеком на каждом этапе жизненного цикла данных.

При действовании подхода, описанного в данной работе, представляется возможным моделировать, учитывать параметры, характеристики, и как следствие выполнять те или иные действия для достижения оптимизации работы, сокращения времени на разработку и эксплуатацию, улучшение и поддерживание качества работы ИИ за счет соответствия нормативным и иным требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 59276-2020. «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения: Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2021-01-03 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Стандартинформ, 2021 — 16 с.
- ГОСТ Р 59898—2021. Оценка качества систем искусственного интеллекта. Общие положения: Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2022-01-03 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Российский институт стандартизации, 2021 — 24 с.
- ПНСТ 838-2023/ИСО/МЭК 23053:2022. Искусственный интеллект. Структура описания систем искусственного интеллекта, использующих машинное обучение. Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2024-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Российский институт стандартизации, 2023 — 40 с.
- ГОСТ Р 59277-2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2021-01-03 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Стандартинформ, 2021 — 16 с.
- ПНСТ 839-2023. Искусственный интеллект. Смещенность в системах искусственного интеллекта и при принятии решений с помощью искусственного интеллекта. Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2024-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Российский институт стандартизации, 2023 — 42 с.
- ГОСТ Р 70889 — 2023 (ИСО/МЭК 8183:2023). Информационные технологии. Искусственный интеллект. Структура жизненного цикла данных. Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2023-02-11 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Российский институт стандартизации, 2023 — 11 с.
- Горячkin 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 DOI 10.37882/2223-2966.2024.06.14
- Остроух, А.В. Интеллектуальные системы: монография / А.В. Остроух. — Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. — 316 с.
- Горячkin 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. — №07. — С. 67–78 DOI 10.37882/2223-2966.2024.7.13
- Kim H.; Chuvikov D.A.; Aladin D.V. et al. Creating a Knowledge Base for a Mivar Expert System for the Diagnosis of Diabetes Mellitus // Biomedical Engineering. — 2021. — Т. 54, №. 6. — С. 421–424. doi: 10.1007/s10527-021-10053-7.
- Chernobrovkin S.; Latkin I.; Belyanova M. et al. Using a hybrid intelligent information systems approach for advertising video generation // Conference of Open Innovation Association, FRUCT. — 2021. — Т. — 2021, №. -. — С. — . doi: 10.23919/FRUCT50888.2021.
- Yuschenko A.S.; Yin S. Dialogue Control of Collaborative Robots Based on Artificial Neural Networks; [Диалоговое управление коллаборативными роботами с помощью искусственных нейронных сетей] // Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. — 2021. — Т. 22, №
- Volkov A.; Varlamov O. Method of creation of a two-level neural network structure for solving problems in mechanical engineering // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Т. 2131, №. 3. — С. -. doi: 10.1088/1742-6596/2131/3/032003
- Yang X.; Bobkov A.V. Development of a vision system for safe and high-precision soft landing on the Moon // Procedia Computer Science. — 2021. — Т. 186, №. -. — С. 503–511. doi: 10.1016/j.procs.2021.04.171]
- B. S. Goryachkin and K. P. Grishin, «Control Loop Intellectualization in Human-Machine Systems», 2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2025, pp. 1–6, doi: 10.110
- Wolfram Cloud. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.wolframcloud.com>. (дата обращения: 01.06.2025).