

УДК 004.8

doi: 10.15622/rcai.2025.096

## К ВОПРОСУ О ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ

М.Н. Королева (*maria.svyatkina@gmail.com*)

Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана, Москва

Человеко-машинные системы полуавтоматического или автоматического типов могут и должны учитывать особенности человека, и адаптироваться к нему. В работе предлагается рассматривать оператора в контуре системы также и в виде объекта управления (для возможностей адаптации системы). Исходя из этого, входной информационный поток должен быть подвергнут преобразованиям соответствующим целям и критериям управления. Это преобразование должно основываться на таком компоненте как модель объекта управления (оператора). Важной составляющей модели являются его психофизиологические характеристики. Такой подход характерен для широкого спектра человеко-машинных систем от систем управления технологическими процессами до выстраивания индивидуальных образовательных траекторий. Важнейшим элементом преобразования в этой работе рассматривается такой компонент как транслятор ключевых характеристик модели в форму подачи информационных единиц или их совокупности. Приведен пример изменения формы представления дидактических единиц на основе учета темперамента обучающихся.

**Ключевые слова:** человеко-машинные системы, психофизиологические характеристики, модель мира, объект управления, системы управления, оператор.

### Введение

Говоря о современном развитии интеллектуальных систем нельзя не отметить системы фактически ставшие помощниками и ассистентами людей. Например, в части планирования дня и подготовки контента. Продвинутые пользователи уже обучили модели GPT под себя и успешно используют их для помощи в работе (конечно, не теряя здравый смысл).

Что же касается производственных систем, где нет возможности так рутинно обучать системы, мы должны говорить о разработке адаптируемых интеллектуальных систем к пользователю. То есть необходимо заложить в систему возможность “понимания”, кто такой оператор (задать его профиль в картину миру системы), чтобы система могла обучиться самостоятельно, накопив и проанализировав действия пользователя в зависимости от контекста и ситуаций. Это означает, что в дальнейшем система будет понимать кто сейчас является оператором (условно Иванов И.И. или Смирнов С.С.), как конкретно этот оператор действует обычно, какие решения ему свойственны и даже какие стратегии он применяет.

## **1. Анализ существующих подходов и работ**

О необходимости учета личных данных и личностных характеристик говорят во многих областях: в области информационной безопасности при социо-инженерных атаках [Azarov et. al., 2020], в финансовом секторе при покупке и продаже финансовых инструментов [Стинбарджер, 2013], в эвакуационных моделях движения людей [Киселев, 2020], в вопросах безопасности труда [Муштонина, 2021], но чаще всего в сфере образования.

### **1.1. Адаптируемые системы в образовательной сфере**

В образовательном процессе строят модель обучаемого – информационную модель, содержащую некоторую информацию о пользователе учебного курса и использующую ее для адаптации процесса работы в системе к этому пользователю. Модель предназначена для адаптации процесса обучения и привязана к модели предметной области (учебного курса).

В разных системах состав модели обучаемого различен. Так, по [Атанов, 2001], [Дорофеев и др., 2007] она представляет собой модель учебных целей, на которую наложены динамически изменяющиеся результаты, хранящиеся в треке обучения. Модель обучаемого предназначена для оценки знаний на определенный момент времени: она доступна как преподавателю, так и учащемуся. Более развёрнутые описания [Давыдова и др., 2015] могут включать:

- коммуникативную модель – данные, необходимые для однозначной идентификации студента, обеспечивающие общение с ним;
- психолого-когнитивную модель – данные для построения процесса обучения индивидуума в соответствии с его потребностями и возможностями: когнитивная, регулятивно-деятельностная и эмоционально-волевая компоненты;
- модель достижений – информация о профессиональных и общекультурных компетенциях, исходных и приобретённых в процессе обучения.

Модель курса должна взаимодействовать с моделью обучаемого для планирования учёбы и её специализации. В модель курса могут включаться [Давыдова и др., 2015] модель требуемых знаний (информация о том, чему необходимо научить обучаемых), план курса и модель учебных материалов, включающая понятия «учебные элементы», «контрольные вопросы» и т.д. Хотя адаптацию часто называют её обязательным элементом [Шаплыко, 2020], она часто понимается весьма узко – как формальный учёт пройденного материала в информационной системе. Однако известны и разработки с развитыми средствами адаптации [Рыбина, 2017], в том числе с индивидуальным планированием методики изучения курса на базе онтологий курсов и выявления проблемных зон в знаниях и умениях обучаемых. Также этот подход допускает оптимизацию решений с учётом психологического портрета обучаемого.

Хотя основные элементы интеллектуальной обучающей системы уже описаны [Добрица и др., 2019], практическое их использование до сих пор весьма ограничено. Такая обучающая система должна разрабатываться с применением методов когнитивной науки, компьютерной лингвистики, искусственного интеллекта и математики, что затрудняет как разработку, так и проверку эффективности.

Среди типичных задач обучающей системы указывают построение последовательности изучения курса, интеллектуальный анализ решений задач, помощь в решении при необходимости и мониторинг процесса обучения. Известные зарубежные интеллектуальные адаптивные платформы: Loud Cloud, Blackboard, Knewton, RealizeIT, Geekie, Smart Sparrow, TopClass – обеспечивают главным образом лишь мониторинг учебного процесса, а прочие интеллектуальные элементы разработчикам курса требуется добавлять самостоятельно.

Примером российских технологических и методологических решений для адаптивного обучения является совместный проект НИТУ «МИСиС» и Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) [Кречетов и др., 2018]. В основе модели адаптации лежат классические модели кривой забывания и итеративного подхода к обучению. Результатом работы алгоритмов является множество траекторий достижения запланированных результатов обучения, только одна из которых предъявляется для освоения. Это показывает, что внедрение подобных систем в текущих условиях возможно и актуально.

## **1.2. Потребность в адаптируемых системах в области АСУТП**

В настоящее время наблюдается кадровый кризис для областей связанных с управлением технологическими процессами – нет возможности выбирать подходящих по темпераменту и другим психическим характеристикам операторов, так как нет избыточности желающих. Однако с по-

мощью интеграции различных подходов и моделей, как то семантические сети, онтологии, модели генеративного ИИ, большие языковые модели, а также экспертные знания и оценки в области информационных интеллектуальных технологий и психологии мы можем адаптировать не только операторов к системам, но и системы к ним. Фактически мы наконец пришли к необходимости использовать уже апробированные в образовательной области технологии, дополнять их и развивать новый класс информационных систем адаптируемых к пользователю на производстве. Стоит отметить, что о создании подобных систем, говорят и в мире. Так, например, в работе [Cardin et al., 2022] говорится о проектировании и использовании цифровых двойников человека-оператора в промышленных киберфизических системах, какие характеристики необходимо «снимать» с оператора, и подробно рассмотрен этический вопрос.

Мы предлагаем пойти несколько дальше и поговорить о возможности решения встающей перед нами задачи построения модели субъекта, чтобы система могла “понимать”, кто с ней работает и какие корректировки информационного потока со своей стороны она должна предоставлять, имея в виду основную целевую функцию. Модель субъекта должна включать в себя такие психофизиологические характеристики, как: темперамент, возможность к риску, смене парадигмы поведения, то есть также иметь когнитивную, регулятивно-деятельностную и эмоционально-волевыми составляющие. Адаптация как раз завязана на учет психофизиологических характеристик.

## **2. Модель субъекта в общей структуре системы**

Рассмотрим общую схему взаимодействия / информационных потоков между сущностями адаптируемой системы, представленной на рис. 1. Субъектом деятельности выступает человек (оператор или обучающийся). На вход поступает не только общий поток информации, но и оценка ситуации или состояния системы, что хорошо или плохо (оценка результата деятельности, для обучения – срез знаний или успеваемость, для технологических процессов – оценка ситуации или режима работы), а также меняется входное воздействие на человека. То есть предоставляемая информация в человеко-машинных системах должна быть адаптируемой под индивидуальные особенности – текстовое описание, визуальные образы и аудио сигналы для разных людей должны быть разной интенсивности и эмоциональной окрашенности. Для случая обучающих систем это может быть изменение формы подачи материала, последовательности (изменение программы или образовательной траектории). Для случая управления технологическими процессами – изменение интенсивности подачи информации в зависимости от психофизиологических особенностей оператора, его восприимчивости к информации. Также выбор корректирующего

воздействия или подстройка системой должны осуществляться с точки зрения итоговой цели работы системы (например, сохранение течения процесса в оптимальном режиме) и критериев деятельности (показатели по качеству и цели управления).

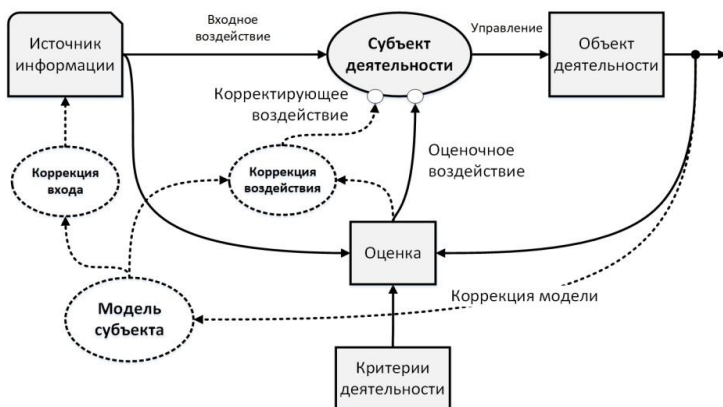


Рис. 1. Общая схема

Для адаптируемости система в своем контуре должна иметь модель субъекта. Эта модель может быть многогранной и должна включать в себя следующие аспекты:

- Фактические данные: фию, возраст, пол, профессия, имеющиеся компетенции, семейное положение и наличие детей, имеющиеся хронические заболевания;
- Поведенческая модель: параметры личностной тревожности и склонность к риску, стратегии принятия решений (проверка гипотез, выжидательная тактика или быстрое принятие решений) [Дозорцев и др., 2022], возможность смены парадигмы действий, здесь же настройки подачи информации на экране и учет возможных изменений экранных форм оператором;
- Эмоционально-волевая компонента: учет психических характеристик, темперамент, учет эмоционального фактора за счет фиксирования физиологических характеристик и движения мыши ПК, а также анализ взаимосвязей между оценкой ситуации и действиями оператора в истории работы.

Конечно, в зависимости от целей работы системы, перечень личных данных и личностных характеристик может меняться – уменьшаться или дополняться. Кроме того, модель субъекта может быть динамической. В любом случае адаптация системы завязана на учет психофизиологических характеристик человека.

### **3. Учет темперамента как одной из основных характеристик**

Психофизиологические характеристики охватывают очень широкий спектр, это и темперамент, и как оператор принимает решения, свойственны ли ему те или иные стратегии поведения в экстренных ситуациях, зависят ли они от его эмоционального состояния и состояния здоровья в моменте. Отметим, что любая попытка новой классификации не отменяет предыдущие, а становится лишь дополнением – ещё одним измерением многогранной личности человека. При этом часто исследования подобного рода начинаются с попытки опереться на темперамент человека, как на наиболее исследованный набор характеристик. В работе [Грановская и др., 2018] приведено подробное описание, как действуют в различных стрессовых ситуациях люди с разным темпераментом, как влияет риск на них. Например, холерики и сангвиники работают лучше в ситуации форс-мажора, а флегматики и меланхолики действуют продуктивнее в условиях, когда направление поиска решения уже заранее определено или имеет место чёткая, формализованная и стабильная структура производственного процесса [Грановская и др., 2018]. Также показано, что у выраженного холерика время, используемое для анализа событий, короткое, что подкрепляет его тактические возможности и снижает стратегические. Поэтому в случае, когда только анализ длительных временных интервалов ведёт к оптимальному решению, холерики малопродуктивны. А у флегматиков оптимальное время анализа существенно больше, что способствует стратегическим решениям. Вместе с тем их медлительность, невозмутимое спокойствие и осмотрительность не позволяют им оперативно оценивать как обстановку, так и собственные действия. В случае необходимости принятия решения у них сразу же формируется внутренний протест, хотя в некоторых случаях уже пора принимать соответствующее решение. Соответственно, можно предположить ситуации, в которых необходимо корректирующее воздействие в представлении информации в зависимости от темперамента.

### **4. Пример изменения окрашенности текста на основе темперамента**

В качестве простого (но важного для дальнейшей работы) примера приведем изменение формы подачи текста темы “Когнитивный подход к разработке онтологий” из учебника [Гаврилова и др., 2016, с. 213-214] с помощью системы Perplexity AI.

## Исходный текст:

Если в результате анализа области и предназначения онтологии выявлено, что онтология будет использоваться для коммуникаций людей, то следует учесть некоторые когнитивные аспекты онтологий. В частности, на этапе формирования иерархии классов представляется целесообразным применить некоторые результаты гештальт-психологии [Гаврилова, 2005; Гаврилова, Воинов, 2007]. Автор гештальт-психологии Макс Вертгеймер так сформулировал основной принцип хорошего гештальта (хорошей формы) или закон прегнантности [Вертгеймер, 1987]: «Организация любой структуры в природе или в сознании должна быть настолько хороша (регулярна, полна, сбалансирована или симметрична), насколько позволяют существующие условия». Также полезными могут быть и другие когнитивно-перцептивные законы:

- закон близости – визуальные стимулы (объекты), находящиеся близко друг от друга воспринимаются как единое целое;
- закон сходства – вещи, обладающие одинаковыми свойствами, обычно воспринимаются как нечто единое (цельное);
- закон включения В. Келера – есть тенденция воспринимать только большую фигуру, а не ту меньшую, которую она включает;
- закон парсимонии – самый простой пример является самым лучшим, известен как принцип «бритвы Оккама»: «не нужно умножать сущности без необходимости».

Переформулируем эти законы для практического использования инженером по знаниям. Основная гипотеза: «Гармония = концептуальный баланс + ясность» [Гаврилова, 2005].

При этом концептуальный баланс подразумевает, что:

- понятия одного уровня иерархии на одной диаграмме связываются с родительским концептом одним и тем же типом отношения (например, «класс – подкласс» или «часть – целое»);
- глубина ветвей онтологического дерева должна быть примерно одинаковая ( $\pm 2$ );
- общая картинка должна быть довольно симметричной;
- перекрестные ссылки должны быть по возможности исключены.

Ясность включает:

- минимизацию. Так максимальное число концептов одного уровня или глубина ветви не должна превышать знаменитое число Ингве-Миллера ( $7 \pm 2$ );
- прозрачность для чтения. Тип отношений на диаграмме должен быть по возможности очевиден, так чтобы не перегружать схему онтологии лишней информацией и опускать названия отношений.

Трудно не согласиться с более «правильной» формой онтологии А по сравнению с онтологией В. Резюмируя, можно сказать, что в случае использования онтологии для коммуникации с людьми следует стремиться к концептуальному балансу и ясности создаваемых концептуальных моделей. В случае, если требования к онтологии и предметная область не позволяют этого обеспечить (например, поставлена задача «по-крупному» проработать всю предметную область и подробнее разобрать один раздел или разные разделы предметной области находятся на разных уровнях зрелости/освоения), то следует при демонстрации онтологии человеку разделить ее на сбалансированные и ясные фрагменты (например, общий вид без деталей + отдельная проработанная ветка).

#### Преобразованный текст для холерика:

Если вы хотите, чтобы онтология работала для общения между людьми, действуйте решительно: учитывайте, как люди воспринимают информацию! На этапе создания иерархии классов используйте принципы гештальт-психологии – это ускорит понимание и повысит эффективность. Главное правило: структура должна быть максимально четкой, сбалансированной и симметричной, насколько это возможно. Используйте:

- Закон близости: группируйте связанные элементы рядом.
  - Закон сходства: похожие объекты объединяйте.
  - Закон включения: выделяйте главное, не распыляйтесь на детали.
  - Закон парсимонии: не усложняйте – чем проще, тем лучше.
- Ваша цель – гармония: баланс концепций и ясность!
- Все элементы одного уровня связывайте одинаково.
  - Ветви должны быть примерно одинаковой глубины.
  - Симметрия – признак порядка.
  - Минимизируйте перекрестные связи.

Ясность – это минимум лишних деталей и прозрачность связей. Не перегружайте схему, делайте всё очевидным. Если невозможно соблюсти баланс – разбейте онтологию на понятные части: общий вид плюс отдельные проработанные ветки.

#### Для меланхолика:

Если анализ показал, что онтология нужна для коммуникации между людьми, важно учесть особенности восприятия информации. На этапе построения иерархии классов полезно опереться на гештальт-психологию, которая учит: структура должна быть максимально гармоничной, полной и симметричной, насколько это возможно.



*Обратите внимание на следующие законы:*

- *Близость*: объекты, находящиеся рядом, воспринимаются как единое целое.

- *Сходство*: похожие элементы объединяются в сознании.

- *Включение*: мы склонны видеть большую фигуру, не замечая меньшую внутри неё.

- *Парсимония*: выбирайте самые простые решения.

*Практически это означает, что:*

- Все элементы одного уровня связываются с родительским одним типом связи.

- Глубина ветвей должна быть примерно одинаковой.

- Старайтесь избегать перекрёстных связей.

- Число элементов на уровне не должно превышать  $7 \pm 2$ .

*Если не получается сделать схему полностью гармоничной, разделите её на более простые и понятные части для демонстрации.*

*Для флегматика:*

*Если выяснилось, что онтология будет использоваться для коммуникации, важно спокойно и последовательно учесть когнитивные аспекты. На этапе формирования иерархии классов применяйте принципы гештальт-психологии: структура должна быть такой хорошей, насколько позволяют условия – регулярной, полной, сбалансированной, симметричной.*

*Следуйте основным законам:*

- *Закон близости*: группируйте близкие объекты.

- *Закон сходства*: объединяйте схожие элементы.

- *Закон включения*: выделяйте главное.

- *Закон парсимонии*: упрощайте, где это возможно.

*В работе придерживайтесь баланса и ясности:*

- *Используйте одинаковые типы связей для элементов одного уровня.*

- *Держите глубину ветвей примерно равной.*

- *Стремитесь к симметрии и минимизируйте перекрёстные связи.*

- *Не перегружайте схему – оптимально  $7 \pm 2$  элемента на уровне.*

*Если невозможно соблюсти все условия, разбейте онтологию на понятные фрагменты: общий вид и отдельные подробные ветки.*

*Для сангвиника:*

*Если ваша онтология нужна для общения между людьми – отлично! Важно сделать её понятной и привлекательной. На этапе построения иерархии классов используйте гештальт-принципы: пусть всё будет*

*гармонично, симметрично и легко для восприятия.*

*Применяйте простые правила:*

- *Близость: размещайте связанные объекты рядом.*
- *Сходство: похожие вещи объединяйте.*
- *Включение: выделяйте главное, не теряйтесь в деталях.*
- *Парсимония: не усложняйте – чем проще, тем лучше!*

*Главное – баланс и ясность:*

- *Связывайте элементы одного уровня одинаково.*
- *Старайтесь, чтобы ветви были одинаковой глубины.*
- *Делайте схему симметричной и без лишних связей.*
- *Не перегружайте: оптимально  $7 \pm 2$  элемента на уровне.*

*Если не удастся сделать всё идеально – покажите сначала общую картину, а потом отдельные детали. Так будет проще и интереснее!*

Выделим ключевые аспекты из предложенных измененных текстов по темпераментам:

- выделена суть, сам текст сокращен;
- учтены характеристики темперамента: эмоциональность (наличие восклицаний у холерика и сангвиника), степень детализации, акцент на мотивацию или на безопасность и порядок;
- разный способ подачи информации (призыв к действию, объяснение, пошаговая инструкция, вовлекающий стиль).

Такой подход позволяет сделать информацию максимально понятной и комфортной для восприятия представителям каждого типа темперамента.

## **Заключение**

Нам всем хочется жить в мире, где люди образованы, профессиональны и эмоционально устойчивы. Однако в реальности нет очередей на работу операторами, а анализировать и управлять технологическими процессами необходимо. При этом операторам важно оставаться в эмоционально стабильном состоянии, минимизировать стресс, и быть уверенным в принимаемых решениях. Построение модели мира субъекта, обучение систем на работу с операторами, адаптацию на основе их психофизиологических характеристик должно помочь в реализации целей управления процессами в меняющихся условиях.

## **Список литературы**

- [Azarov et al., 2020] Azarov A., Tulupyeva T., Suvorova A., Koroleva M., Vasileva O. Assessment of the Information System's Protection Degree from Social Engineering Attack Action of Malefactor While Changing the Characteristics of User's Profiles: Numerical Experiments // In: Proceedings of the Fourth International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (ITI'19), Ostrava, Czech Republic, 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1156. – P. 523-530. – doi: 10.1007/978-3-030-50097-9\_53.

- [**Стинбарджер, 2013**] Стинбарджер Б. Психология трейдинга. Инструменты и методы принятия решений. – М.: Альпина Паблишер, 2013. – 368 с.
- [**Киселев, 2020**] Киселев С.С., Сазонов С.Ю., Сазонова Е.С. Психологическая модель поведения агента // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2020. – № 9. – С. 69-74. – doi: 10.37882/2223-2966.2020.09.20.
- [**Муштонина, 2021**] Муштонина Е.А., Александрова А.В., Левчук А.А. Учет личностных характеристик и компетенций в вопросах безопасности труда при профессиональном отборе работников (на примере персонала локомотивных бригад) // III Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию Победы Советского народа в Великой Отечественной Войне 1941-1945 гг. "Научный потенциал вуза – производству и образованию" (Армавир, 04-05 декабря 2020 года): Сборник статей. – Армавир: ООО «Редакция газеты «Армавирский собеседник» (Армавирская типография), 2021. – С. 227-232.
- [**Гаврилова и др., 2016**] Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы: учебник. СПб.: Изд-во «Лань», 2016. – 324 с.
- [**Грановская и др., 2018**] Грановская Р.М. [и др.]. Взаимосвязь темперамента, психологических защит и совладания со стрессом // Вестник психотерапии. – 2018. – № 68(73). – С. 83-99.
- [**Атанов, 2001**] Атанов Г.А. Моделирование учебной предметной области, или предметная модель обучаемого // Образовательные технологии и общество. – 2001. – Вып. 1. – Т. 4. – С. 111-124.
- [**Голубев, 2018**] Голубев П. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений – краткий обзор. Блог компании Open Data Science 2018 // Хабр: сайт. – URL: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/359188/>.
- [**Давыдова и др., 2015**] Давыдова Е.Н., Сергушичева А.П. Модели обучаемого и преподавателя для мультиагентной обучающей системы // Открытое образование. – 2015. – № 5. – С. 25-31.
- [**Добрица и др., 2019**] Добрица В.П., Горюшкин Е.И. Применение интеллектуальной адаптивной платформы в образовании // Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2019. – № 1(21).
- [**Дорофеев и др., 2007**] Дорофеев А.С., Сосинская С.С. Модели обучающего курса в разработке систем дистанционного обучения // Прикладная информатика. – 2007. – № 3(9). – С. 25-37.
- [**Кречетов и др., 2018**] Кречетов И.А., Дорофеева М.Ю., Дегтярев А.В. Раскрываем потенциал адаптивного обучения: от разработки до внедрения // Материалы Международной конференции «eLearning Stakeholders and Researchers Summit 2018». – М.: Изд. дом ВШЭ, 2018. – С. 76-85.
- [**Кузнецов и др., 2009**] Кузнецов М. А., Пономарев С. С. Современная классификация систем поддержки принятия решений // Прикаспийский журнал управления и высокие технологии. – 2009. – № 3(7). – С. 52-58.
- [**Рыбина, 2017**] Рыбина Г.В. Интеллектуальная технология построения обучающихся интегрированных экспертных систем: новые возможности // Открытое образование. – 2017. – № 4. – С. 43-57.

- [Шаплыко, 2020] Шаплыко И.М. Адаптивная модель обучаемого для системы управления обучением в ВУЗе: автореф. дисс. магистра технических наук. – Минск БГУИР, 2020. – 53 с.
- [Cardin et al., 2022] Cardin O., Trentesaux D. Design and Use of Human Operator Digital Twins in Industrial Cyber-Physical Systems: Ethical Implications // In: 14th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2022 (IFAC-PapersOnLine), Tel-Aviv, Israel, 28-30 March 2022. – 2022. – Vol. 55, Issue 2. – P. 360-365. – doi: 10.1016/j.ifacol.2022.04.220.
- [Дозорцев и др., 2022] Дозорцев В.М., Венгер А.Л. О проблеме доверия человека-оператора искусственному интеллекту // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 2. – С. 10-17.