

1.4. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Мохов А. И., Душкин Р. В., Андронов М. Г., Мальцев В. П

Статья описывает предлагаемую авторами методику для оценки степени интеллектуальности технических и социотехнических систем различных классов, что подразумевает комплексное рассмотрение функционирования таких систем на достаточно абстрактном уровне так, чтобы не принимать во внимание конкретную природу оцениваемых систем. Описываемая методика основана на разработанных авторами принципах интеллектуализации технических и социотехнических систем, что позволяет использовать шкалу интеллектуальности для осуществления сравнения систем одного класса. В статье вводятся критерии, шкалы и алгоритм оценки степени интеллектуальности, а также приводятся некоторые примеры. Методика также основана на отдельных достижениях искусственного интеллекта в части использования в рамках функциональности технических и социотехнических систем мета-функций, составляющих основу когнитивных вычислений в рамках символьного подхода нисходящей парадигмы искусственного интеллекта. Новизна рассматриваемой методики основана на применении разработанного авторами понимания интеллектуальности и интеллектуализации технических и социотехнических систем. Актуальность работы вытекает из важности поиска единых методов оценки интеллектуальности для сравнения систем нового типа — таких повсеместно внедряемых интеллектуальных систем, как интеллектуальные транспортные системы, интеллектуальные энергосистемы, умные города и др.

Введение

В настоящее время в связи с развитием подходов и методов к интеллектуализации технических систем [Душкин, 2018b; Душкин, 2019] и построением на их основе сложных социотехнических систем классов «интеллектуальное здание», «интеллектуальная транспортная система», «интеллектуальная энергосистема», «умный город» и других подобных, становится актуальной задача построения удобной и адекватной методики оценки степени интеллектуальности для сопоставления и сравнения систем одного класса друг с другом. Решение этой задачи позволит комплексно оценивать реализованные проекты и принимать научно и экономически обоснованные управленческие решения в части дальнейшего развития реализованных систем.

Существенным аспектом предлагаемой методики является то, что она не принимает в рассмотрение функциональность конкретных систем, а оценивает степень интеллектуальности по так называемым мета-функциям, которые составляют сущность интеллектуальности технических систем в понимании авторов. Это позволит размещать оцениваемые системы в квадранте, одной осью которого будет шкала интеллектуальности по описываемой методике, а второй — оценка качества функциональности систем одного класса как степень соответствия концептуальным требованиям к системам этого класса. Такой подход расставит оцениваемые системы в четырёх квадрантах (рис. 1), что покажет направление необходимого движения для тех систем, которые получили низкие оценки.

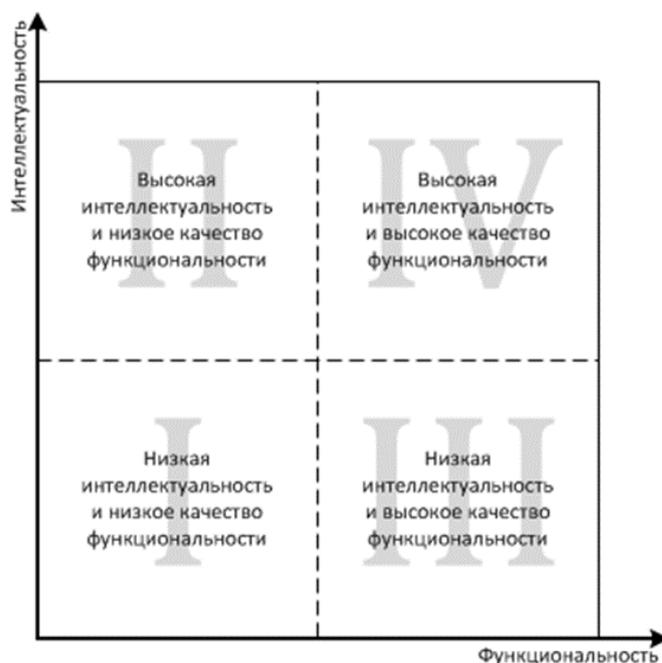


Рис. 1. Квадранты оценки качества систем

При помощи указанной на рис. 1 матрицы все информационные и автоматизированные системы (одного класса) можно расположить по четырём группам:

1. *Низкая интеллектуальность и низкое качество функциональности* — фактически, это квадрант, в котором находятся прототипы информационных и автоматизированных систем, которые находятся в процессе разработки и подвергаются исследованию на возможность реализации или всестороннему тестированию.

2. *Высокая интеллектуальность и низкое качество функциональности* — довольно странный квадрант, если только здесь не располагаются прототипы информационных и автоматизированных систем, для которых была начата проработка интеллектуальных и когнитивных

функций. Если разработчики системы выбрали путь интеллектуализации прототипа, то в этом квадранте можно найти подобные экземпляры. Но, по мнению авторов, этот квадрант чаще всего будет пустым.

3. *Низкая интеллектуальность и высокое качество функциональности* — здесь находятся обычные информационные и автоматизированные системы, которые успешно функционируют и решают свои задачи в рамках своего предназначения. Суть этого квадранта в том, чтобы в процессе анализа собрать те уже реализованные и внедрённые системы, которые необходимо подвергнуть интеллектуализации.
4. *Высокая интеллектуальность и высокое качество функциональности* — целевое состояние создаваемых «с нуля» или интеллектуализируемых систем.

Предполагается, что на представленной матрице движение в рамках интеллектуализации будет осуществляться двумя маршрутами:

1. От готовой функционирующей системы к интеллектуализированной системе, предоставляющей тот же базовый набор функциональности (из квадранта III в квадрант IV). Это естественный порядок преобразования уже существующих информационных или автоматизированных систем.
2. От прототипа к полностью интеллектуализированной системе (из квадранта I в квадрант IV). Этот путь должен выбираться для тех систем, которые только начинают создаваться — в техническом задании на разработку подобной системы должны быть определены требования к уровню интеллектуальности.

Другими словами, применение предлагаемой авторами методики позволит не только осуществлять сравнение систем по степени их интеллектуальности друг с другом, но и определять направление развития систем с низкой степенью интеллектуальности.

1. Принципы интеллектуализации

В соответствии с работой [Душкин, 2019] под интеллектуальностью искусственной (технической) системы понимается наличие у такой системы двух важных свойств. Во-первых, это возможность адаптации к изменяющимся условиям внешней среды при эксплуатации или изменяющимся условиям самой эксплуатации. Во-вторых, это высокая степень автономности её работы, в том числе и в части функциональности по принятию самостоятельных решений. Чем выше степень автономности и адаптивности искусственной системы, тем выше её интеллектуальность [Domingos, 2018].

С другой стороны, под интеллектуализацией понимается процесс повышения степени интеллектуальности технической системы [Rajani, 2011]. Исходя из того, что интеллектуальность является составной характеристикой из двух более простых свойств, интеллектуализация представляет собой траекторию развития системы в рамках своего жизненного цикла от низкого уровня к высокому по двумерному пространству состояний.

Поскольку речь ведётся об интеллектуализации управления, необходимо явным образом подчеркнуть, что именно делает техническую систему интеллектуальной. Это не должна быть просто декларация о том, что при реализации подсистем и элементов системы необходимо пользоваться какими-либо методами или применять те или иные принципы. Ответ даёт технология разработки ИИ-систем, в рамках которой декларируются мета-свойства, которыми должна обладать функциональность технической системы, чтобы её функции считались интеллектуальными [Душкин, 2018а; Джексон, 2001].

Функциональность системы должна обладать следующими мета-свойствами [Джарратано и др., 2006]:

1. Интерпретация получаемых данных «на лету».
2. Диагностика своего состояния.
3. Мониторинг состояния объекта управления.
4. Моделирование и прогнозирование будущих состояний объекта управления и своего собственного.
5. Планирование реакции на будущие состояния.
6. Самообучение и обучение с учителем.
7. Управление в различных режимах.
8. Поддержка принятия решений в экстренных случаях.

Чем больше из перечисленных свойств реализует функция системы, тем более «интеллектуальной» она может считаться. Можно обратить внимание, что практически все эти свойства в той или иной мере подходят под характеристики естественного интеллекта, то есть характеризуют интеллектуальных агентов, взаимодействующих друг с другом вполне рациональным образом [Russel et al., 2003; Wooldridge, 2002].

Функции системы, которые связаны с мониторингом состояния объекта управления, получают большие массивы данных для обработки и дальнейшего использования либо непосредственно в принятии решений, либо для сохранения в архиве с целью моделирования и прогнозирования дальнейшего раз-

вития соответствующих объектов управления. *Интерпретация получаемых данных «на лету»* подразумевает тот самый анализ «больших данных» в применении к предназначению, целям и задачам системы, поиск и выявление закономерностей в состояниях объекта управления, использование таких находок в таких свойствах, как моделирование, прогнозирование, самообучение и управление [Майер-Шенбергер и др., 2014].

При выполнении своей функциональности как в рамках отдельных подсистем, так и в сквозных автоматизированных процессах управления должна быть предусмотрена возможность *диагностики своего собственного состояния*. Это относится как к работоспособности отдельных элементов и подсистем, так и правильности выполнения функций и задач на любом уровне декомпозиции. При появлении признаков нарушения работоспособности (будь то выход из строя какого-либо технологического оборудования, разрыв каналов связи или ещё какая-либо поломка, но в том числе и проблемы на организационном уровне), система должна принимать меры по собственному исправлению и исключению отклонений от заданного режима работы. Самодиагностика — это важный элемент интеллектуальности, и он, в свою очередь, также основан на постоянном анализе и интерпретации данных о состоянии своих элементов [Костюков и др., 2009].

Также система должна осуществлять *мониторинг объекта управления*, всех его подсистем, частей и элементов. Само собой разумеется, что в каждой подсистеме имеется свой собственный объект управления, комплекс которых составляет сводный объект управления всей системы. Так что для повышения общей степени интеллектуальности системы мониторинг состояния объекта управления должна осуществлять каждая подсистема. Впрочем, чаще всего это осуществляется в рамках прямой функциональности каждой подсистемы. Так же, как и в случае диагностики, мониторинг основан на анализе и интерпретации данных «на лету», а сам по себе является основой для моделирования и прогнозирования будущих состояний объекта управления [Афанасьев и др., 2001].

Следующим важнейшим свойством функциональности системы должна быть возможность *моделирования и прогнозирования* будущих состояний как объекта управления, так и самой системы. Это свойство основано на наличии определённых динамических моделей в рамках подсистем под соответствующие объекты управления, а также на постоянном мониторинге текущего состояния, в том числе и через обратную связь от будущего факта к прогнозу и плану. Другими словами, функциональность системы должна постоянно отслеживать состояние объекта управления, сравнивать его с прогнозным и плановым значением и, соответственно, стремиться к совпадению этих трёх показателей. Опять же, всё это должно осуществляться в рамках каждой подсистемы [Светульников и др., 2015]. Итого, основываясь на диагностике своего собственного состояния и мониторинге состояния объекта управления, это свойство готовит почву для следующего — планирования деятельности.

Использование моделей и получение прогнозов будущих состояний позволяет осуществлять *планирование*. Под планированием понимается разработка планов действий, относящихся к объектам управления, при этом планы направлены на достижение определённых стратегических целей. Целеполагание может быть как внешним, то есть задаваться извне системы из её надсистемы, так и внутренним, определяющимся либо самой системой, либо её акторами. Планирование используется в функциях системы для подготовки будущих действий на основании прогнозов с дальнейшим сравнением прогноза, плана и факта с передачей отклонений по обратной связи в модель, используемую для прогнозирования, для её актуализации и перекалибровки [Трофименко и др., 2013]. Тем самым готовится почва для обучения системы. Кроме того, планирование является важнейшей предпосылкой управления [Эшби, 2006].

Обучение (как самообучение, так и обучение с учителем) — ещё одна важная особенность функциональности системы, которая делает её интеллектуальной. Система должна иметь возможность адаптации своих правил деятельности к изменяющимся условиям среды, в которой она функционирует. Это может происходить как автоматически для отдельных функций, автоматизированно при помощи обучения по аналогии с действиями операторов, либо вообще вручную, когда персонал системы настраивает её для реагирования на новые стимулы [Флах, 2015]. Обучение системы — важный процесс, который лежит в основе управленческих функций.

Все эти аспекты функциональности постепенно подводят к заключительным свойствам, первым из которых является *управление в различных режимах*. Фактически, вся деятельность системы направлена на управление своим объектом управления с учётом модели, прогнозов и планов. Само собой разумеется, что все предыдущие аспекты делают вклад в управление, при этом сам феномен управления необходимо рассматривать в применении к различным режимам работы. К таким режимам относятся, конечно же, штатный режим, а также режим чрезвычайных или критических ситуаций. Интеллектуальность системы максимально будет проявляться тогда, когда система будет использоваться в автоматическом режиме при управлении в кризисных ситуациях. При этом управление будет производиться не ситуационным, а предиктивным методом [Душкин, 2017].

Наконец, венчает интеллектуальные аспекты функциональности такая важная технология, как *поддержка принятия решений* [Терелянский, 2009]. Даже если постепенно все функции системы будут становиться автономными, и человек всё меньше и меньше будет принимать участие в выполнении, в первую очередь, рутинных операций, то самые важные решения человек будет принимать ещё очень долго. Однако есть все возможности готовить и рационально объяснять решения на основе комплекса собранных данных, построенных моделей, прогнозов и исполнения планов, выполнения управленческих

воздействий и результатов их применения — всё это является основой для подготовки решений для лиц, их принимающих. И такой аспект функциональности должен стать той целью, к которой необходимо стремиться при проектировании и реализации системы.

Учитывая всё вышеприведённое, все перечисленные интеллектуальные аспекты функциональности складываются в следующую диаграмму:

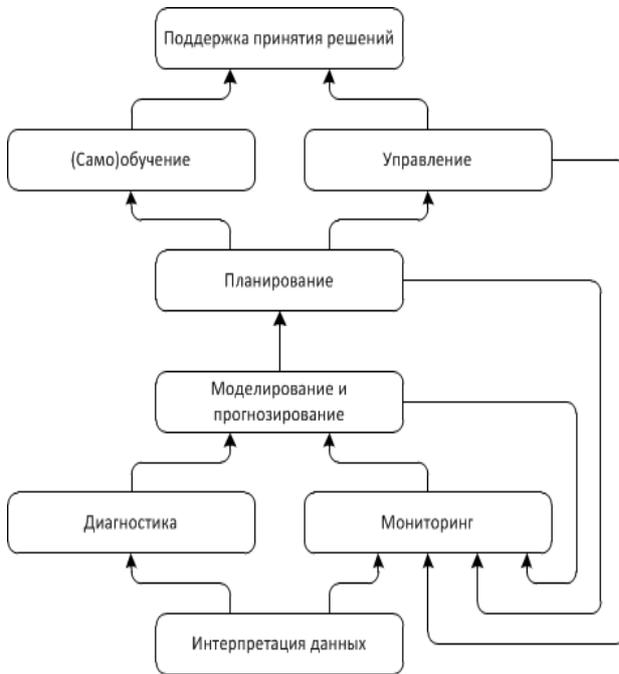


Рис. 2. Мета-свойства функциональности интеллектуализированной системы

Таким образом, максимально возможное применение методов искусственного интеллекта для реализации перечисленных аспектов интеллектуальности, особенно в части обработки больших данных, обучения и поддержки принятия решений, будет залогом того, что система действительно будет считаться интеллектуальной.

2. Критерии и шкалы оценки

В соответствии с описанными в предыдущем разделе свойствами искусственных интеллектуальных систем и их мета-функциями можно ввести шкалы для оценки комплексной степени интеллектуальности искусственной системы. С учётом наличия двух свойств и восьми мета-функций таких шкал будет десять. Далее приводятся предложения по каждой шкале.

Шкала «Автономность» характеризует степень автономности искусственной интеллектуальной системы и может представлять собой следующий классификатор:

1. Все решения системы «визируются» оператором.
2. Отдельные незначимые функции системы автономны.
3. Система автономна во всей зоне своей функциональности, кроме критических для безопасности функций и «области доверия».
4. Оператором подтверждаются только функции из «области доверия».
5. Полностью автономная система.

Автономность технической системы тесно связана с ответственностью, то есть это больше категория нормативно-правовая. Из этого следует, что повышение автономности с необходимостью связано с повышением надёжности и адекватности принятия решений. В свою очередь, использование искусственных интеллектуальных систем в так называемых «областях доверия», под которыми понимаются такие проблемные области, от решений в которых напрямую зависит здоровье и жизнь человека, требует наличия возможности объяснения принятых решений.

Шкала «Адаптивность» используется для оценки возможности технической системы подстраиваться под изменяющиеся условия среды, в которой система функционирует, и может быть основана на следующем классификаторе:

1. Адаптивность отсутствует, все алгоритмы и методы принятия решений жёстко прописаны в системе.
2. Актуализация знаний осуществляется дедуктивным способом во время технического обслуживания системы.
3. Дедуктивный метод обучения может применяться без остановки функционирования системы.
4. Модель принятия решений в системе может быть индуктивно дообучена в специальном режиме функционирования.
5. Система самостоятельно и непрерывно обучается в процессе своего функционирования.

Под дедуктивным методом обучения понимается эксплицитное построение базы знаний, в то время как индуктивное обучение основано на применении современных технологий машинного обучения, в особенности нейросетевого подхода и глубинного обучения. Впрочем, технические системы, имеющие высокую степень адаптивности (4 или 5) могут также использовать явно сформулированные знания, получаемые в процессе взаимодействия со средой и формализуемые на языке представления знаний при помощи методов автоматического построения баз знаний.

Восемь мета-свойств функциональности интеллектуализированных систем, перечисленных в предыдущем разделе, можно оценивать по единой шкале, состоящей из следующих дискретных пунктов:

1. Мета-свойство не реализовано.
2. Мета-свойство реализовано примерно для 25 % функций системы.
3. Мета-свойство реализовано примерно для 50 % функций системы.
4. Мета-свойство реализовано примерно для 75 % функций системы.
5. Мета-свойство реализовано в полном объеме для всех функций системы.

Таким образом, десять шкал формируют пространство оценки информационной или автоматизированной системы для понимания степени интеллектуальности соответствующей системы. Для сравнения систем друг с другом можно использовать кластерный анализ в десятимерном пространстве.

3. Алгоритм оценки

Интеллектуальные технические системы обычно представляют собой сложные комплексы взаимосвязанных друг с другом информационных и автоматизированных систем управления, взаимодействующих либо по принципу «точка — точка», либо через общее информационное пространство посредством единой интеграционной платформы. При этом такие сложные комплексы взаимодействующих систем представляют собой уже не просто технические системы, но, скорее, социотехнические. Это значит, что сам алгоритм оценки должен применяться комплексно ко всем подсистемам интеллектуальной системы.

В целях корректного сопоставления систем одного класса друг с другом прежде всего необходимо утвердить и согласовать всеобъемлющую типовую концепцию разработки и внедрения систем соответствующего класса. В такой концепции должна быть описаны требования к архитектуре и функциональности системы. Само собой разумеется, что требования к архитектуре (составу и структуре) должны быть целостными и консистентными, а требования к функциональности должны быть максимально исчерпывающими.

Оценивать интеллектуальность функциональности необходимо для каждой системы комплекса. Функциональность каждой отдельной системы должна оцениваться по десяти шкалам. Оценка для одной системы должна рассчитываться по следующей формуле:

$$E_i = 0.30(e_{au} + e_{ad}) + 0.05(f_i + f_a + f_m + f_p + f_f + f_l + f_c + f_s), (1)$$

где:

- E_i — оценка функциональности системы i .
- e_{au} — оценка системы по шкале «Автономность».
- e_{ad} — оценка системы по шкале «Адаптивность».
- f_i — оценка мета-функции «Интерпретация получаемых данных «на лету»».
- f_a — оценка мета-функции «Диагностика своего состояния».
- f_m — оценка мета-функции «Мониторинг состояния объекта управления».
- f_p — оценка мета-функции «Моделирование и прогнозирование будущих состояний объекта управления и своего собственного».
- f_f — оценка мета-функции «Планирование реакции на будущие состояния».
- f_l — оценка мета-функции «Самообучение и обучение с учителем».
- f_c — оценка мета-функции «Управление в различных режимах».
- f_s — оценка мета-функции «Поддержка принятия решений в экстренных случаях».

Другими словами, шкалы для свойств ИИ-систем дают в общую оценку интеллектуальности системы по 30 % вклада, а шкалы всех мета-функций — по 10 %.

Все шкалы, перечисленные в предыдущем разделе, имеют 5 градаций. Для перевода каждой градации в числовое значение можно воспользоваться следующей формулой:

$$V = 0.25(N - 1), (2)$$

где N — номер градации шкалы.

Другими словами, каждая оценка по шкале получает числовое значение из множества {0.00; 0.25; 0.50; 0.75; 1.00}. Наконец, совокупная оценка интеллектуальности всего интеллектуального комплекса представляет собой среднее арифметическое всех оценок:

$$E = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k E_i, (3)$$

где k — количество подсистем в комплексе.

Для случая социотехнических систем (СТС) интеллектуализация функционирования дополняется интеллектуализацией управления (развития), при которой возникает обратная связь субъекта управления с результатом (объектным и субъектным) управленческого воздействия. Такое дополнение характеризует приведённое выше мета-свойство функциональности системы, как «Самообучение и обучение с учителем». Инфографическая модель, фиксирующая данное свойство, приведена на рис. 3.

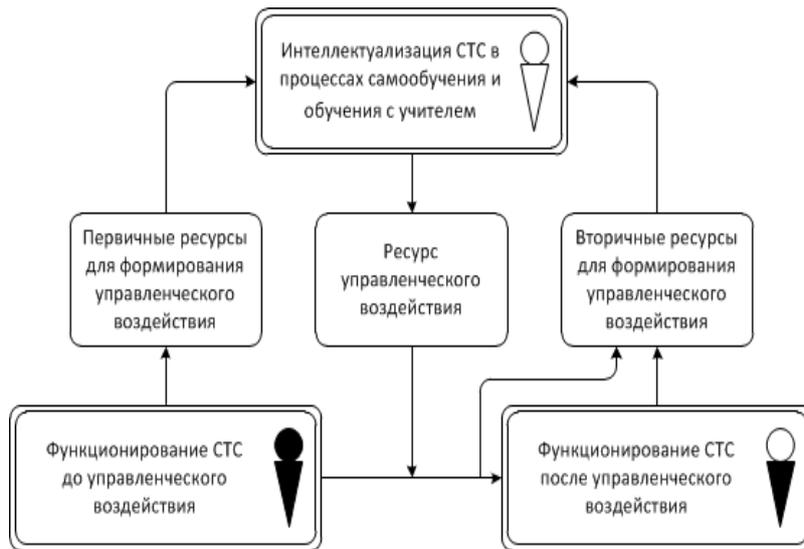


Рис. 3. Инфографическая модель, фиксирующая мета-свойство «Самообучение и обучение с учителем» с учетом потоков ресурсов для интеллектуализации управления СТС (Приведённая модель с некоторыми незначительными изменениями была представлена авторами на Вторых международных Косыгинских чтениях «Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование», октябрь 2019 г.)

Учёт в модели потоков ресурсов позволяет проследить жизненный цикл управляющего воздействия, начиная от

его подготовки к воздействию на функционирование СТС до включения его результатов в опыт работы СТС для её интеллектуализации. Показанный стрелкой «Ресурс управляющего воздействия» — это управляющее воздействие на деятельность СТС с целью получения результата — изменения норм этой деятельности в соответствии с требованиями к изменению её функционирования. Содержание блока «Первичные ресурсы» на рис. 3 включает данные по интеллектуализации функционирования СТС на начальный момент. «Вторичные ресурсы» — это продукт деятельности субъекта управления, оказывающего воздействие на процесс функционирования СТС с целью её интеллектуализации.

Для выработки управляющего воздействия требуется понимание того, как реализовано управляющее воздействие в предыдущем цикле изменения функционирования СТС на основании отзыва потребителя такого воздействия. При этом реализуется «обучение с учителем», где в роли учителя выступают представители социальной подсистемы. А совершенствование управляющего воздействия (в направлении удовлетворения потребителя) возможно только за счёт рефлексии собственной деятельности по оказанию этой услуги.

При этом реализуется процесс «самообучения». Таким образом, вторичные ресурсы складываются из двух потоков, обозначенных на рис.3 стрелками, входящими в блок «Вторичные ресурсы для формирования услуги»:

- Поток информационного ресурса от наблюдения участника взаимодействия со стороны субъекта управления за «поведением» СТС в процессе управляющего воздействия.
- Поток информационного ресурса, исходя из реакции СТС на оказанное управляющее воздействие.

Таким образом, оценка интеллектуализации СТС совпадает с оценкой интеллектуализации технической системы в последующем цикле развития последней [Мохов, 2013].

Вместе с тем в некоторых случаях простое среднее арифметическое оценок для подсистем может не быть адекватным, так как различные подсистемы делают разный вклад в общую функциональность комплексной системы. В этом случае резонно воспользоваться взвешенным средним с определённым весом для каждой конкретной подсистемы. Веса подсистем должны быть определены в концепции, а их сумма должна равняться единице. В этом случае совокупная оценка интеллектуальности всего интеллектуального комплекса будет рассчитываться по следующей формуле:

$$E = \sum_{i=1}^k w_i E_i, \quad (4)$$

где w_i — вес подсистемы i . В этой формуле отсутствует нормирующий коэффициент $\frac{1}{k}$, так как нормировка уже произведена посредством требования равенства суммы всех весов единице: $\sum_{i=1}^k w_i = 1$.

Таким образом, оценка интеллектуальности комплексной технической или социотехнической системы представляет собой число от 0 до 1. В случае необходимости, это число можно перевести в значение какой-либо дискретной шкалы, показывающей качественную оценку интеллектуальности.

4. Пример применения для умных городов и интеллектуальных транспортных систем

В качестве примера применения описанных методики и алгоритма оценки можно рассмотреть возможность применения их для оценки проектов класса «Умный город». Пусть, для определённости, общая архитектура системы этого класса выглядит следующим образом, как показано на рис. 4.

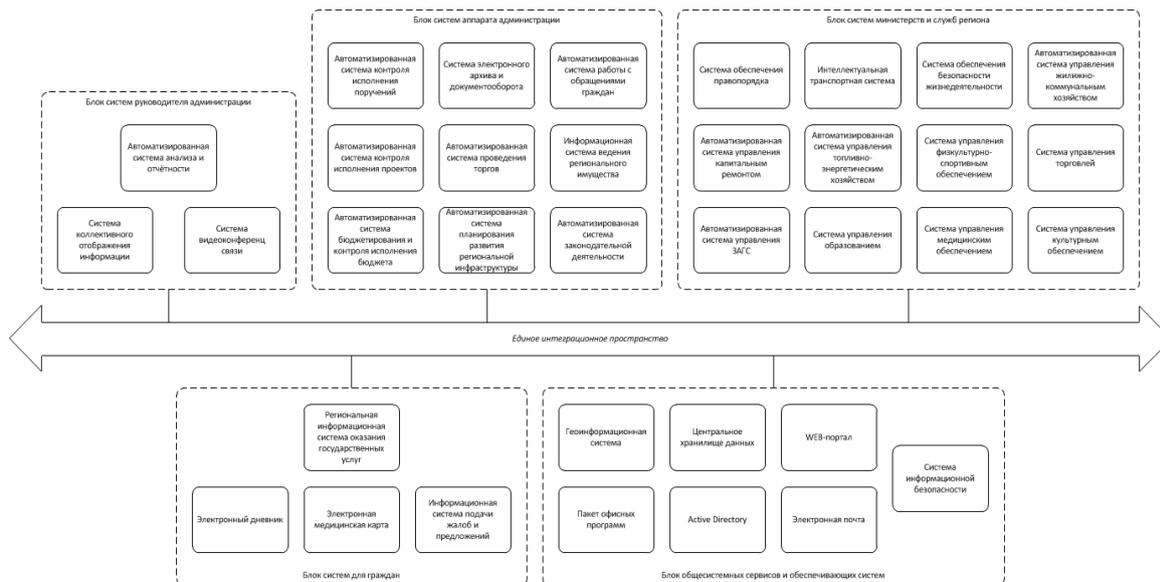


Рис. 4. Обобщённая архитектура систем класса «Умный город»

Системы класса «Умный город» представляют собой социотехнические комплексы, в которых обычно выделяются несколько групп подсистем, обозначенных на рис. 4 блоками с пунктирными границами. В каждом блоке, представляющем собой исключительно логическую сущность для группировки функционально схожих систем, собраны подсистемы интеллектуального комплекса, которые взаимодействуют с другими подсистемами через интеграционное пространство, что показано как соединение всего блока с шиной передачи данных.

На представленной схеме указано 35 подсистем, поэтому для дальнейших расчётов можно принять значение $k = 35$. Также принимается, что все подсистемы равноценны по своему вкладу в общую функциональность комплекса управления, так что для совокупной оценки степени его интеллектуальности применяется обычное среднее.

Некоторые из авторов настоящей работы принимали участие в создании Интеллектуальной транспортной системы Москвы (далее — ИТС Москвы), поэтому далее расчёт производится для соответствующей подсистемы на основе авторской оценки функциональности и реализованных для всех подсистем ИТС Москвы мета-свойств.

- **Автономность.** ИТС Москвы автономна во всей зоне своей функциональности, кроме критических для безопасности функций и «области доверия», поэтому $e_{au} = 0.50$.
- **Адаптивность.** ИТС Москвы адаптивна лишь в части отдельных узких функций (например, светофорное регулирование в зонах адаптивности), и актуализация знаний осуществляется дедуктивным способом во время технического обслуживания системы, поэтому $e_{ad} = 0.25$.
- **Интерпретация получаемых данных «на лету».** Это свойство реализовано в ИТС Москвы для всех подсистем, поэтому $f_i = 1.00$.
- **Диагностика своего состояния.** Это свойство также реализовано для каждого типа периферийного оборудования ИТС Москвы, равно как и серверных и коммутационных мощностей, а также инженерных подсистем и программного обеспечения, поэтому $f_d = 1.00$.
- **Мониторинг состояния объекта управления.** Это свойство реализовано в полном объёме для всех типов объектов управления, находящихся в ведении ИТС Москвы, поэтому $f_m = 1.00$.
- **Моделирование и прогнозирование будущих состояний объекта управления и своего собственного.** Это свойство реализовано примерно для 25 % функций мониторинга, поэтому $f_p = 0.25$.
- **Планирование реакции на будущие состояния.** Это свойство реализовано менее чем для 25 % функций мониторинга, поэтому $f_f = 0.25$.
- **Самообучение и обучение с учителем.** Это свойство не реализовано в рамках ИТС Москвы, поэтому $f_l = 0.00$.
- **Управление в различных режимах.** Это свойство полностью реализовано в рамках ИТС Москвы, поэтому $f_c = 1.00$.
- **Поддержка принятия решений в экстренных случаях.** Это свойство реализовано примерно для 75 % функциональности всех подсистем ИТС Москвы, поэтому $f_s = 0.75$.

Таким образом, подставляя перечисленные значения оценок по введённым ранее шкалам в формулу (1), можно получить следующее значение оценки для ИТС Москвы:

$$E_{\text{ИТС}} = 0.30(0.50 + 0.25) + 0.05(1.00 + 1.00 + 1.00 + 0.25 + 0.25 + 0.00 + 1.00 + 0.75) = 0.4875, \quad (5),$$

что означает, что ИТС Москвы имеет средний уровень интеллектуальности. Есть, куда расти, и, главное, по представленному расчёту это видно — в какую сторону необходимо двигаться, чтобы сделать Интеллектуальную транспортную систему Москву по-настоящему интеллектуальной.

6. Заключение

Представленная в настоящей работе методика оценки степени интеллектуальности технических и социотехнических систем позволяет не только оценить отдельную интеллектуальную систему, но и ранжировать системы для их сравнения в части функциональности и составления планом модернизации в целях для повышения степени интеллектуальности. При этом сама методика является независимой от предметной области, в которой функционируют оцениваемые технические и социотехнические системы.

Методика может использоваться для проведения оценки комплексных социотехнических систем, реализуемых в рамках национальных программ и проектов в разных регионах страны, для сравнения таких систем друг с другом и выработки управленческих решений, для разработки планов развития соответствующих систем. В частности, применение описанной методики выглядит оправданным и целесообразным для следующих классов систем:

- Интеллектуальные транспортные системы.
- Интеллектуальные энергосистемы.
- Интеллектуализированные АСУ ЖКХ.
- Безопасный город.
- Умный город.
- Интеллектуальные системы управления регионом.

Видится резонным использование описанной методики в сочетании с концептуальными проектами и техническими заданиями на разработку и внедрение интеллектуализированных систем управления.

Литература:

1. Domingos P. (2018) Our Digital Doubles: AI will serve our species, not control it // *Scientific American*, vol. 319, no. 3 (September 2018), pp. 88-93.
2. Rajani S. (2011) Artificial Intelligence — Man or Machine // *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*. 4(1), 2011. — p. 173-176.
3. Russell S. J., Norvig P. (2003) *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (2nd ed.). — Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. — 1080 p. — ISBN 0-13-790395-2.
4. Wooldridge M. (2002) *An Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons Ltd, 2002, paperback, 366 pages, ISBN 0-471-49691-X.
5. Афанасьев Ю. А., Фомин С. А. и др. (2001) *Мониторинг и методы контроля окружающей среды: Учеб. пособие*. — М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. — 208 с.
6. Джарратано Дж., Райли Г. (2006) *Экспертные системы: принципы разработки и программирование: Пер. с англ.* — М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1152 стр. с ил.
7. Джексон П. (2001) *Введение в экспертные системы = Introduction to Expert Systems / П. Джексон*. — 3-е изд. — М.: Вильямс, 2001. — 624 стр.
8. Душкин Р. В., Жарков А. Д., Иванов Д. А. (2017) *От безопасного к умному городу — Нижний Новгород: ИТ Форум 2020. «Развитие цифрового государства. Создание систем весомого государственного контроля, интеллектуальных транспортных систем»*. — 12-14 апреля 2017 года.
9. Душкин Р. В. (2018а) *К пониманию интеллектуальности в транспортных системах // Транспортное планирование и моделирование. Цифровое будущее управления транспортом: сборник трудов III Международной научно-практической конференции, Москва, 24-25 мая 2018 г. / под ред. д-ра техн. наук, профессора С. В. Жанказиева*. — М.: МАДИ, 2018. — с. 40-48.
10. Душкин Р. В. (2018b) *Особенности функционального подхода в управлении внутренней средой интеллектуальных зданий // Прикладная информатика, Том 13, № 6 (78), 2018*. — с. 20-31. — ISSN 1993-8314.
11. Душкин Р. В. (2019) *Интеллектуализация управления техническими системами в рамках функционального подхода // Программные системы и вычислительные методы*. — 2019. — № 2. — С. 43-57. — DOI: 10.7256/2454-0714.2019.2.29192. — URL: http://e-notabene.ru/ppsvm/article_29192.html.
12. Костюков А. В., Костюков В. Н. (2009) *Повышение операционной эффективности предприятий на основе мониторинга в реальном времени*. — М.: Машиностроение, 2009. — 192 с.
13. Майер-Шенбергер В., Кукьер К. (2014) *Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живём, работаем и мыслим = Big Data. A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think / пер. с англ. Инны Гайдюк*. — М.: Манн, Иванов, Фербер, 2014. — 240 с. — ISBN 987-5-91657-936-9.
14. Мохов А. И. *Интеллектуализация информационных ресурсов России / Информационные ресурсы России*. — № 3 (133), 2013. — С.15-17.
15. Светуных И. С., Светуных С. Г. (2015) *Методы социально-экономического прогнозирования. Том 2. Модели и Методы*. — Москва: Юрайт, 2015. — 447 с. — ISBN 978-5-9916-4904-9, 978-5-9916-4905-6.

16. Терелянский П. В. (2009) Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования: монография / П. В. Терелянский; ВолгГТУ. — Волгоград, 2009. — 127 с.
17. Трофименко Ю. В., Якимов М. Р. (2013) Транспортное планирование: Формирование эффективных транспортных систем крупных городов — М: Логос, 2013. — С. 464. — ISBN 978-5-98704-709-5.
18. Флах П. (2015) Машинное обучение. — М.: ДМК Пресс, 2015. — 400 с. — ISBN 978-5-97060-273-7.
19. Эшби У. Р. (2006) Введение в кибернетику = An introduction to cybernetics / У. Росс Эшби; пер. с англ. Д. Г. Лахути; под ред. В. А. Успенского; с предисл. А. Н. Колмогорова. — 3-е изд., стер. — М: URSS, 2006 (М: ООО Ленанд). — 432 с.: ил., табл.; ISBN 5-484-00506-X.

References in Cyrillics

1. Afanas'ev YU. A., Fomin S. A. i dr. (2001) Monitoring i metody kontrolya okruzhayushchej sredy: Ucheb. posobie. — М.: Izd-vo MNEPU, 2001. — 208 s.
2. 6. Dzharatano Dzh., Rajli G. (2006) Ekspertnye sistemy: principy razrabotki i programmirovaniye: Per. s angl. — М.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2006. — 1152 str. s il.
3. 7. Dzhekson P. (2001) Vvedenie v ekspertnye sistemy = Introduction to Expert Systems / P. Dzhekson. — 3-e izd. — М.: Vil'yams, 2001. — 624 str.
4. 8. Dushkin R. V., ZHarkov A. D., Ivanov D. A. (2017) Ot bezopasnogo k umnomu gorodu — Nizhnij Novgorod: IT Forum 2020. «Razvitie cifrovogo gosudarstva. Sozdanie sistem vesogabaritnogo kontrolya, intellektual'nyh transportnyh sistem». — 12-14 aprelya 2017 goda.
5. 9. Dushkin R. V. (2018a) K ponimaniyu intellektual'nosti v transportnyh sistemah // Transportnoe planirovaniye i modelirovaniye. Cifrovoe budushchee upravleniya transportom: sbornik trudov III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Moskva, 24-25 maya 2018 g. / pod red. d-ra tekhn. nauk, professora S. V. ZHankazieva. — М.: MADI, 2018. — s. 40-48.
6. 10. Dushkin R. V. (2018b) Osobennosti funktsional'nogo podhoda v upravlenii vnutrennej sredoy intellektual'nyh zdaniy // Prikladnaya informatika, Tom 13, № 6 (78), 2018. — s. 20-31. — ISSN 1993-8314.
7. 11. Dushkin R. V. (2019) Intellektualizatsiya upravleniya tekhnicheskimi sistemami v ramkah funktsional'nogo podhoda // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. — 2019. — № 2. — S. 43-57. — DOI: 10.7256/2454-0714.2019.2.29192. — URL: http://e-notabene.ru/ppsvm/article_29192.html.
8. 12. Kostyukov A. V., Kostyukov V. N. (2009) Povysheniye operacionnoj effektivnosti predpriyatij na osnove monitoringa v real'nom vremeni. — М.: Mashinostroeniye, 2009. — 192 s.
9. 13. Majer-SHenberger V., Kuk'er K. (2014) Bol'shie dannye. Revolyuciya, kotoraya izmenit to, kak my zhivom, rabotaem i myslim = Big Data. A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think / per. S angl. Inny Gajdyuk. — М.: Mann, Ivanov, Ferber, 2014. — 240 s. — ISBN 987-5-91657-936-9.
10. 14. Mohov A. I. Intellektualizatsiya informacionnyh resursov Rossii / Informacionnye re-sursy Rossii. — № 3 (133), 2013. — S.15-17.
11. 15. Svetun'kov I. S., Svetun'kov S. G. (2015) Metody social'no-ekonomicheskogo prognozirovaniya. Tom 2. Modeli i Metody. — Moskva: YUrajt, 2015. — 447 s. — ISBN 978-5-9916-4904-9, 978-5-9916-4905-6.
12. 16. Terelyanskij P. V. (2009) Sistemy podderzhki prinyatiya reshenij. Opyt proektirovaniya: monografiya / P. V. Terelyanskij; VolgGTU. — Volgograd, 2009. — 127 s.
13. 17. Trofimenko YU. V., YAkimov M. R. (2013) Transportnoe planirovaniye: Formirovaniye effektivnyh transportnyh sistem krupnyh gorodov — М: Logos, 2013. — S. 464. — ISBN 978-5-98704-709-5.
14. 18. Flah P. (2015) Mashinnoye obucheniye. — М.: ДМК Пресс, 2015. — 400 с. — ISBN 978-5-97060-273-7.
15. 19. Eshbi U. R. (2006) Vvedenie v kibernetiku = An introduction to cybernetics / U. Ross Eshbi; per. s angl. D. G. Lahuti; pod red. V. A. Uspenskogo; s predisl. A. N. Kolmogorova. — 3-e izd., ster. — М: URSS, 2006 (М: ООО Ленанд). — 432 с.: ил., табл.; ISBN 5-484-00506-X.

Мохов А. И. (anmokhov@mail.ru)
 Душкин Р. В. (roman.dushkin@gmail.com)
 Андронов М. Г., (mihandronov@gmail.com)
 Мальцев В. П. (allvovamail@gmail.com)

Ключевые слова

интеллектуальность, интеллектуализация, методика оценки, техническая система, социотехническая система, шкала, искусственный интеллект, интеллектуальная транспортная система, интеллектуальная энергосистема, умный город.

Mokhov A. I., Dushkin R. V., Andronov M. G., Maltsev V. P., Methods of assessing the degree of intelligence of technical and sociotechnical systems

Keywords: intelligence, intellectualization, assessment methodology, technical system, sociotechnical system, scale, artificial intelligence, intelligent transport system, intelligent energy system, smart city.

DOI: 10.34706/DE-2019-03-04

JEL classification: O 32 – Management of Technological Innovation and R&T

Abstract.

The article describes the methodology proposed by the authors for assessing the degree of intelligence of technical and sociotechnical systems of various classes, which implies a comprehensive review of the functioning of such systems at a sufficiently abstract level so as not to take into account the specific nature of the systems being assessed. The described technique is based on the principles of intellectualization of technical and sociotechnical systems developed by the authors, which allows using the intelligence scale to compare systems of the same class. The article introduces criteria, scales and an algorithm for assessing the degree of intelligence, as well as some examples. The methodology is also based on individual achievements of artificial intelligence regarding the use of meta-functions within the functionality of technical and sociotechnical systems, which form the basis of cognitive calculations within the framework of the symbolic approach of the downward paradigm of artificial intelligence. The novelty of the methodology under consideration is based on the application of the understanding developed by the authors of the intelligence and intellectualization of technical and sociotechnical systems. The relevance of the work follows from the importance of finding common methods for assessing intelligence for comparing of new-type systems — such universally implemented intelligent systems as intelligent transport systems, smart energy systems, smart cities, etc.