

Интеллектуальные сенсорные сети в Industry 5.0. Обобщенная концепция создания цифровых платформ управления сложными системами на основе регуляризирующего байесовского подхода

С. В. Прокопчина

Финансовый университет при Правительстве РФ

Аннотация. В рамках концепции Индустрии 4.0 предусматривается интенсивное развитие процессов интеллектуализации сенсорных систем. К числу важнейших специфических свойств реальных измерительных процессов в сложных системах относится, прежде всего, их реализация в условиях значительной неопределенности. Неопределенность обусловлена априорной неполнотой, неточностью, расплывчатостью информации о сложном измерительном объекте и среде его функционирования, что не позволяет построить адекватную модель объекта до проведения измерительного эксперимента, выявить и формализовать влияющие факторы внешней среды и разработать эффективные алгоритмы для функционирования информационных и измерительных систем.

В статье предлагается подход к интеллектуализации измерительных систем в условиях неопределенности путем создания интеллектуальных сенсорных сетей на основе байесовских интеллектуальных технологий (БИТ) и средств их реализации. Рассмотрены типичные модули таких сетей, представляющие собой интегрированные наборы различных датчиков и интеллектуальных систем обработки измерительной информации.

В состав таких наборов датчиков могут входить как физически реализованные измерительные приборы, так и виртуальные сенсоры для измерения неколичественных или интегральных характеристик. Результатами работы сетей являются комплексные оценки состояния сложных объектов и рекомендации по обеспечению их устойчивого функционирования. Важной частью таких систем являются встроенные средства полного метрологического обоснования всех полученных решений. Системы имеют иерархическую архитектуру, соответствующую уровням управления сложными объектами, которая имеет возможность саморазвития на основе вновь полученной информации. Это достигается благодаря моделям и измерительным шкалам с динамическими ограничениями, на которых построены все используемые в этих сетях алгоритмы. В статье приводятся примеры использования интеллектуальных сенсорных сетей для мониторинга и управления техническими и социально-экономическими системами.

Ключевые слова: интеллектуальные измерения, Байесовский подход, сенсорные сети

I. ВВЕДЕНИЕ

В мировом масштабе в настоящее время реализуются принципы и технологии концепции Industry 4.0. Развиваются и используются такие, характерные для этой концепции направления, как Big Data, интеллектуальная обработка данных, облачные вычисления, индустриальный интернет вещей, машинное обучение, Data Science и другие

В то же время все чаще звучат мнения специалистов, что, по сути, ничего революционно нового в этой концепции и примерах ее реализации нет. Есть только постепенное развитие начавшейся еще в 70-х годах прошлого века автоматизации производства во все расширяющихся границах и масштабах [1].

И, как отмечают многие исследователи, полностью завершенных примеров реализации концепции Industry 4.0 тоже еще нет.

С другой стороны, начавшееся в Японии в начале второго десятилетия движение по разработке концепции Industry 5.0, было признано Евросоюзом как новая парадигма развития сферы информационных технологий и систем в 2019 году.

В качестве отличительного принципа концепции Industry 5.0 выделяется принцип ориентации на пользователя, принцип «кастомизации», что тоже не является абсолютно новым, так как его обязательное исполнение утверждается стандартами серии ISO 9000. Но, важно при этом отметить, что в отличие от концепции Industry 4.0, ориентированной, прежде всего, на крупные промышленные приложения, в концепции Industry 5.0 все приложения реализуются как в крупных индустриальных производствах, так и в других сферах человеческой деятельности, в частности, в социальной сфере. Например, известное технологическое решение Internet of Things (IoT) трансформируется не только в Industrial Internet of Things (IIoT), но и в Internet of Value (IoV) – Интернет цепочек ценностей и даже в Internet of All (IoA), объединяющий в виртуальном пространстве коммуникации всех естественных и искусственных источников информации.

На этом, собственно, в доступных источниках пока и приостанавливается определение отличий концепции Industry 4.0 от концепции Industry 5.0.

Методы, технологии и информационные системы, ориентированные на функционирование в рамках новой концепции, должны быть адаптированы к ее специфическим свойствам

В этой связи целесообразно определить различия принципов в методологической и технологической сферах, на которых базируются указанные концепции, а также сформировать концептуальную основу для разработки интеллектуальных систем в рамках Industry 5.0.

II. ОСНОВНЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРУЮЩИХ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Под интеллектуальной сенсорной сетью будем понимать информационную цепь измерительно-вычислительных модулей, предназначенных для получения и аналитической обработки данных и знаний, функционирующих в условиях неопределенности, с целью решения задач мониторинга и управления сложными системами.

При этом надо иметь в виду, что под сложными системами понимаются как технические, так социально-экономические системы и природные комплексы.

Если сложные системы представляют собой технические объекты, то целью управления является их безопасная эффективная эксплуатация. Если же сложные системы представляют собой социально-экономические или природные комплексы, то под управлением понимается управление деятельностью с целью обеспечения их устойчивого развития.

Такие сети создаются на основе типовых функциональных модулей, представляющих собой интегрированные сенсорные блоки с интеллектуальной обработкой данных измерений и сопутствующей информации.

Архитектура типовых модулей имеет унифицированную структуру по типу элементов: сенсоры, блоки передачи и хранения информации, блоки интеллектуальной обработки информации.

Под сенсорами понимаются как физические датчики измерительной информации, так и виртуальные и субъективные сенсоры, отмеченные выше.

Изменение функциональности типового модуля достаточно просто достигается за счет изменения состава сенсорных устройств и настройки измерительной модели. За счет унифицированных интерфейсов модуля эти действия могут быть произведены без участия программистов.

Так, например, типовой модуль для контроля состояния водоснабжающей сети при замене приборов контроля состояния сети (расходомеров, датчиков давления в трубах и скорости потоков воды и других сенсорных элементов типового модуля) на датчики контроля состояния воздушной среды и при модификации модели объекта измерений преобразуется в типовой модуль контроля состояния воздуха. Для реализации такой трансформации необходимы базы типовых аналитических или имитационных моделей,

наборы сенсоров и интерфейсов для их подключения в автоматическом или автоматизированном режимах. Таким образом, осуществляется развитие функциональности интеллектуальной сенсорной сети, а унифицированный характер типовых модулей и протоколов их связей создает возможности для реконфигурации сети в процессе ее эксплуатации.

На наш взгляд, в качестве одного из главных различий указанных выше концепций можно определить интеграционную технологическую основу концепции Industry 5.0. Если в рамках концепции Industry 4.0 указанные выше направления формировались, в основном, как самостоятельные и самодостаточные совокупности методов и технологий, и главной целью их разработок являлось повышение их эффективности, то при решении задач в условиях концепции Industry 5.0 главной целью является оптимальная интеграция методов и технологий этих направлений в соответствии с требованиями эффективного решения прикладной задачи. При этом сам пользователь вовлекается в контур активности интегрированной технологии и как постановщик задачи, и как источник информации, и как потребитель решения.

В таких синтезированных средах на первоначальных этапах будут задействованы технологии IIoT, IIoA, Big Data, Data Sciens для получения измерительной информации, извлечения текстовой информации, оценок специалистов, получения видео-информации и других типов данных и знаний, а также для их предварительной обработки. Для функционирования их совокупности необходима их интеграция в едином информационном процессе.

Еще одним важным отличием является высокая степень неопределенности информации. Поэтому одним из главных является вопрос обеспечения сопоставимости информации и ее достаточности. Здесь важно отметить, что вся информация в реальных ситуациях является, как правило, неполной, неточной, субъективно или объективно искаженной и зашумленной. В этих условиях для обеспечения устойчивости функционирования систем и устойчивости решений необходимо привлечение метрологической основы теории измерений. Об этом часто забывают при проектировании интеллектуальных систем, ориентируясь на тестовые данные. Но то, что работает на макетных данных, далеко не всегда правильно функционирует в рабочих условиях эксплуатации при обработке реальной экспериментальной информации именно по причине высокой степени ее неопределенности (малых выборок, разнотипных и несопоставимых данных, сильной зашумленности информации). В этих ситуациях для обеспечения устойчивости решений по Адамару необходима регуляризация пространства исходной информации и пространства решений на основе введения измерительного подхода, частности шкалирования или классификации.

Шкалирование и классификация данных, знаний, модельных представлений, критериев, сценариев и условий функционирования систем позволяют построить регулярные структуры их пространств, тем самым обеспечивая устойчивость получаемых решений на каждом этапе технологий.

Регуляризация должна быть обеспечена и на уровне структур создаваемых сенсорных сетей. Она проявляется в типизации блоков сенсорных устройств и сопряжении их решений.

Очень важен вопрос учета информации от субъектов-источников информации.

На основании методологии этих технологий субъект может рассматриваться как сенсор, генерируя потоки информации. При включении нескольких таких субъектов они могут быть объединены в сенсорную сеть. При этом потоки информации от субъектов должны иметь метрологическое обоснование. В работе [3] предложен подход для создания системы метрологического сопровождения в виде комплексов метрологических характеристик – показателей качества решений.

Здесь важно учесть не только содержательную часть этой информации, но и логику ее генерации. Работы российских ученых позволяют реализовать эти технологии на базе методологий мягких и когнитивных измерений [3, 4]. Такие методологии позволяют менять логику вывода решений, что очень важно в условиях неопределенности и использовании субъективных источников информации. Классификация логик вывода в соответствии с типом решаемой задачи, возможность их смены и их оптимального выбора в зависимости от меняющихся информационных ситуаций и типов сенсоров позволяют получать эффективные, достоверные решения даже при высокой степени неопределенности.

Еще одним важным аспектом является учет условий проведения информационного эксперимента в процессе измерений и обработки информации. Можно привести примеры, в которых при использовании нейросетевых технологий регуляризация информационных ситуаций на основе их классификации обеспечивает многократное сокращение объема требуемых экспериментальных данных для обучения сети, а также времени и сложности вычислений.

Таким образом, при интеграции технологий в условиях неопределенности необходима регуляризация информационных пространств исходной, промежуточной и конечной информации, регуляризация пространства технологий и условий реализации технологий на основе их шкалирования и классификации.

Формулы интеграции информации в условиях ее регуляризации шкалированием приведены в разделе 3 данной работы.

Следующие этапы технологий создания цифровых платформ связаны с разработкой средств интеллектуальной обработки интегрированной информации.

Создание таких систем в качестве основной задачи определяет разработку методологий и технологий интеграции методов и средств искусственного интеллекта и измерений. При этом в качестве основополагающего принципа интеграции можно определить принцип единства измерений, распространяя его на всю цепь обработки информации.

При практической реализации такого принципа организуется охват информационной системы сетью метрологического сопровождения, получения и обработки информации.

В данной статье предлагаются методологический подход и технологии создания интеллектуальных измерительных сетей, характеризующихся многофункциональностью, разнообразием сенсоров, возможностью функционирования в режимах самонастройки и саморазвития в условиях значительной информационной неопределенности (неточности, неполноты, нечеткости информации).

Процесс создания интеллектуальных сенсорных сетей можно представить тремя основными этапами: предварительным этапом концептуального проектирования, этапом измерения и моделирования, генерации рекомендаций и сценарного управления.

Интеграция технологий, в частности, указанных выше, осуществляется посредством интеграции их решений в единую информационную цепь регуляризованных, метрологически аттестованных результатов, полученных на каждом этапе реализации обобщенной технологии получения и обработки информации. Так, шкалированная измерительная информация, полученная в средах IoT передается по каналам связи в блоки аналитической обработки, где, наряду с выполнением математических действий, организуется метрологическая аттестация поучаемых решений с учетом трансформации комплексов метрологических характеристик исходных данных согласно применяемым алгоритмам обработки.

Моделирование реальных систем ведется на основе индуктивно-дедуктивного подхода, при котором сложная иерархическая концептуальная модель системы, создаваемая на предварительном этапе моделирования, разделяется на простые детальные модели отдельных составляющих реальной системы. Концептуальную модель системы составляют факторы, определяемые выбранными свойствам системы, которые представляются в виде основных ключевых факторов и показателей их состояния. Как правило, такие показатели являются интегральными, состоящими из совокупности взаимосвязанных показателей нижних уровней иерархии модели. Они могут быть измерены и оценены на основе специальных измерительных технологий, ориентированных на условия неопределенности.

На нижних уровнях накапливается первичная информация, которая и остается на этих уровнях в архивных блоках. На высшие уровни иерархии передается сжатая информация в виде оценок и выводов, что обеспечивается использованием на этом уровне локальных интеллектуальных блоков обработки как числовой, так и нечисловой информации. Таким образом, общий объем информации, передаваемый на высшие уровни управления системой, многократно уменьшается. Этот аспект является чрезвычайно актуальным при обработке потоков больших данных.

Далее, поскольку значительная часть информации о системе и окружающей ее среде не может быть напрямую измерена приборами и представлена в числовой форме, то должны быть предусмотрены технологии обработки нечисловой информации. Такие

методы и технологии разрабатываются на основе подходов искусственного интеллекта (ИИ). Но существующие методы и решения ИИ не имеют метрологического обоснования. Поэтому для организации единого непрерывного процесса управления необходимо сопряжение, интеграция технологий измерений и ИИ. При этом измерительные технологии принесут возможности метрологии, а технологии ИИ дадут возможность расширить семантическое содержание решений. Для этих целей могут быть использованы сопряженные интеллектуальные шкалы измерений, которые на основе интеграции вычислительных (шкал интервалов и отношений) и семантических шкал (номинальных и порядковых шкал) обеспечивают возможность интеграции числовой и лингвистической информации. Теория и технологии построения таких шкал рассмотрены, например в [1–3, 5].

Далее следует сборка рабочей модели всей системы в направлении, обратном дедуктивному, то есть по иерархической структуре вверх до уровня рабочей модели всей системы.

Обобщенная рабочая модель системы создается путем свертки моделей отдельных блоков системы, в результате которой обобщенная модель приобретает эмерджентные свойства, присущие только целостной модели системы.

Затем наступает этап аудита и генерации управленческих решений на основе, полученной на всех уровнях модели системы информации.

На предварительном этапе также разрабатывается модель управления системой, приведение ее в целевое состояние в технических системах или мотивирование социально-экономической системы для достижения требуемого состояния путем генерации управленческих рекомендаций и их реализации.

Естественно, что до реализации рекомендаций необходимо выработать сценарий, моделирующий развитие событий при реализации рекомендации, что позволяет убедиться в эффективности и безопасности рекомендаций.

Важным аспектом является моделирование внешнего окружения системы, так как сценарий должен предусматривать оценку влияния реализации рекомендаций на состояние окружающей среды.

Моделирование окружающей среды ведется на основе вышеизложенных принципов.

На основании вышесказанного можно сформулировать концепцию построения цифровых платформ для интеллектуальных сенсорных сетей (ИИС) в следующем виде.

1. Цифровые платформы разрабатываются для создания ИСС мониторинга и управления сложными техническими и социально-экономическими системами, а также для мониторинга и поддержания устойчивого развития природных комплексов.
2. Цифровые платформы для создания ИСС создаются на базе интеграции перспективных

технологий измерений и искусственного интеллекта.

3. Функционирование ИСС проходит в условиях значительной информационной неопределенности. В связи с этим необходима регуляризация пространств исходной и промежуточной информации, решений, модельного ряда, требований, критериев, сценариев управления и условий функционирования путем шкалирования и классификации.
4. Для функционального развития ИИС цифровая платформа должна содержать избыточное количество аналитических и имитационных моделей и средства их интеграции.
5. Цифровая платформа должна включать в состав функциональных блоков блоки свертки разнотипной информации и вывода решений с возможностью смены логики вывода и критериев в зависимости от меняющихся факторов и условий.
6. Для организации целостного процесса управления сложными системами на основе ИИС необходимо создание параллельной основным измерительным и вычислительным процессам цепи метрологического сопровождения, которую должна обеспечивать цифровая платформа.
7. Для решения задач мониторинга и управления необходимо разработать модель управления системой, состоящую из блоков управления локальными техническими блоками и системой менеджмента, которые должны интегрироваться на основе принципов стандартов серии ISO 9000.

III. МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ РЕГУЛЯРИЗИРУЮЩЕГО БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА (РБП)

Сенсорные сети с указанными в предыдущем разделе свойствами реализуются на основе регуляризирующего байесовского подхода и технологий на его основе. Главным достоинством этой методологии является возможность обработки как числовой (например, измерительной информации), так и лингвистической (например, экспертных оценок) информации в условиях их неполноты и неточности. Указанная возможность реализуется на основе использования новых типов измерительных шкал с динамическими ограничениями. В докладе приводятся практические примеры реализации интеллектуальных сенсорных сетей такого типа.

Разработанные автором байесовские интеллектуальные технологии на основе регуляризирующего байесовского подхода позволяют реализовать мониторинг и управление сложными системами в условиях значительной неопределенности и активного динамического влияния внешней среды. Методология, информационные технологии и прикладные примеры решения прикладных задач на их основе приведены в работах автора, например, в [1–3].

Основное уравнение байесовских интеллектуальных измерений (БИИ), отражающее возможности реализации

вышеуказанных принципов построения сенсорных сетей на основе РБП имеет вид:

$$h_{k,t}^{(Q)} \left\{ \left\{ MX_{k,t}^{(Q)} \right\} \middle| \left(Y_t^{(Q)}; \{ X_{i,t} \}; G_t^{(E)} \right) \right. \\ \left. = \left\{ \operatorname{argexstr} C \left[\varphi_{j,t}(f_{i,t}\{ X_{i,t} \}) \middle| \left(Y_t^{(Q)} \right) \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. * Y_t^{(E)} * G_t^{(E)} \right) \right] \right\},$$

где * – символ свертки; Q – измеряемое свойство; $h_{k,t}^{(Q)}$ – решение для измерения в виде сопряженной шкалы $H_{(k,t)}$ с динамическими ограничениями (интеллектуальная шкала); $\{MX_{k,t}^{(Q)}\}$ – набор метрологических характеристик, включающий показатели точности, надежности, точности решения; C – критерий выбора измерительных решений (например, байесовский критерий минимального среднего риска решения); $\varphi_{(j,t)}$ – формирующие технологические решения; $f_{(i,t)}$ – модели – функциональные преобразования первичных данных; $\{X_{(i,t)}\}$ – набор информационных потоков; $G_t^{(E)}$ – информация о влияющих факторах окружающей среды; $Y_t^{(Q)}$ – условия для проведения измерительного эксперимента; $Y_t^{(E)}$ – условия получения информации о влияющих факторах внешней среды.

В ходе выполнения ряда прикладных проектов, связанных с созданием интеллектуальных измерительных комплексов для распределенных техногенных, природных и социально-экономических систем была разработана концепция интеллектуальных сенсорных сетей.

Такие сети позволяют производить комплексную оценку состояния распределенных систем в любой момент времени, определить основные риски и потенциалы как отдельных участков, так и системы в целом.

Интеллектуальная сенсорная сеть состоит из центрального модуля интеллектуальной обработки информации и периферийных модулей, обеспечивающих сбор и предварительную обработку информации по всем участкам сети.

В качестве центрального модуля используется интеллектуальная среда, построенная на платформе «Инфоаналитик», на вход которой поступают информационные потоки от периферийных интеллектуальных модулей, прикладных нейросетей обработки изображений и документов, баз статистических данных, экспертных оценок и другой информации. Структура такой сети представлена на рис. 1.

Опыт таких разработок позволил сформировать типовой периферийный модуль сенсорной сети, реализующий все вышеуказанные функции для отдельного участка сети.

В его состав входят следующие подсистемы:

- интегрированные наборы датчиков, осуществляющие измерения параметров систем;
- интеллектуальные контроллеры, реализующие функции [i1] интеллектуальной обработки

первичной измерительной информации, состоящей в интеграции информации от отдельных датчиков с целью получения оценок, и согласования протоколов передачи полученных на данном участке сети решений в центральный модуль;

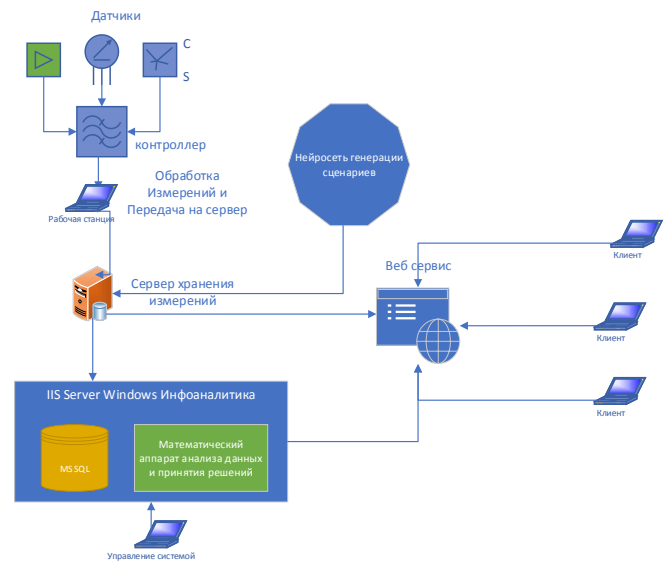


Рис. 1. Структурная схема сенсорной сети

- подсистемы интерфейсов и веб-сервисов в режиме мониторинга;
- базы данных первичной измерительной информации.

Вид типового модуля сенсорной сети иллюстрирует рис. 2. Концептуальная модель создания получения решения на основе байесовских интеллектуальных технологий (БИТ) построена на основе методологии и принципов создания моделей с динамическими ограничениями на базе регуляризирующего байесовского подхода [1–3]. Этапы комплексного решения задачи создания цифровых платформ для разработки интеллектуальных сенсорных сетей могут быть представлены следующей моделью:

$$Q = Q_1 * Q_2 * Q_3 * Q_4 * Q_5 * Q_6 * Q_7 * Q_8 * Q_9 * Q_{10} * Q_{11} \quad (2),$$

где: Q – обобщенный алгоритм создания типowego модуля сенсорной сети; Q_1 – создание концептуальной модели объекта с динамическими ограничениями (МДО) для данного участка сенсорной сети; Q_2 – выбор системы сенсоров; Q_3 – построение шкал с динамическими ограничениями (ШДО) для каждого датчика в интеллектуальном контроллере; Q_5 – реализация измерений, получение первичной измерительной информации от датчиков; Q_6 интеграция отдельных измерений различных датчиков по модифицированной формуле Байеса; Q_7 интерпретация интегрированной информации и представление ее в виде оценки состояния участка сети; Q_8 – определение динамики и динамических моделей, трендов по отдельным параметрам и в целом по состоянию системы на данном участке сети и тенденций развития ситуаций; Q_9 – оценка рисков и потенциалов ситуации и отображение методами когнитивной графики; Q_{10} – интерпретация

сложившейся ситуации; Q_{11} – генерация рекомендаций для улучшения ситуации.

Свертка информации (в формуле (1) это действие обозначено символом *) о значении элемента x_{ij} , $i = 1, \dots, I$ производится по модифицированной формуле Байеса для дискретных законов распределения гипотез в виде функций принадлежности (лингвистическая шкала БИИ для обработки нечисловой, качественной информации) или распределения вероятностей (числовая шкала БИИ для обработки нечисловой, качественной информации). Вероятность решения (гипотезы о состоянии объекта, значении параметра или подобное) вычисляются по формуле:

$$\mu(h_{kj}^{0\lambda} | h_{kj}^0 | X_i^0 | Q_i^0) = \frac{\mu(h_{kij}^\lambda | h_{kij} | x_{ij} | x_i | Q_i) \circ \mu(h_{k,i+1,j}^\lambda | x_{i+1,j} | x_{i+1} | Q_{i+1})}{\sum_{i=1}^k \mu(h_{l,i+1,j}^\lambda | h_{l,i+1,j} | x_{i+1} | x_{i+1} | Q_{i+1})} \quad (3),$$

где: $h_{kj}^{0\lambda}$ – интегральная (для совокупности потоков информации X_i^0) регуляризирующая байесовская оценка (РБО); h_{kij} – РБО для X_i потока данных; $\mu(h_{kj}^{0\lambda} | h_{kj}^0 | X_i^0 | Q_i^0)$ – апостериорная вероятность оценки $h_{kj}^{0\lambda}$.

Общая схема разрабатываемой системы состоит из: сервера хранения измерений, датчиков; контроллера; обработки измерений и передачи на сервер; рабочей станции; нейросети генерации сценариев; веб сервиса; клиентов; IIS Server Windows Инфоаналитика; MS SQL; математического аппарата анализа данных и принятия решений; управления системой.

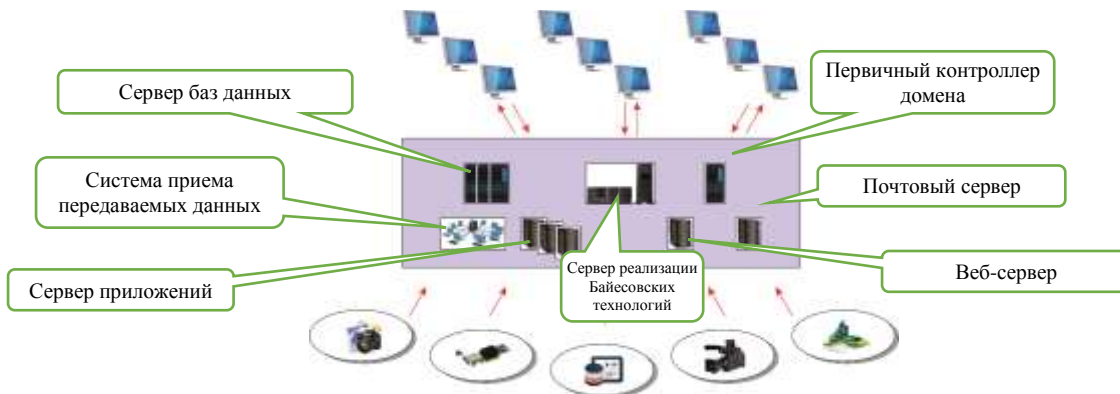


Рис. 2. Структурная схема типового модуля участка интеллектуальной сенсорной сети

Типовой периферийный модуль интеллектуальной сенсорной сети, как показано на рис. 2, включает основные измерительные приборы и интеллектуальный контроллер, а также необходимые модули для организации веб-сервисов. В состав измерительных приборов могут входить как датчики для измерений физических параметров, так и виртуальные измерительные приборы для измерений интегральных, нефизических и неколичественных параметров. Такая архитектура типового модуля позволяет объединять, интегрировать и обрабатывать данные измерений и наблюдений в режиме мониторинга. Использование специальных шкал с динамическими ограничениями [1, 2] позволяет производить измерения в условиях неопределенности, значительной динамичности измеряемых параметров и активного влияния внешней среды.

IV. ПРИМЕРЫ СОЗДАНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РБП И БИТ

Такие методы и технологии использованы при выполнении реальных проектов. В частности, ниже приводятся примеры прикладных решений интеллектуальной сенсорной сети для оценки состояния водопроводной сети одного из городов Российской Федерации.

На рис. 3 представлена интерпретация ситуации по интегральному фактору «Информация от приборов учета» на 12.11.2021.

Результаты работы типового модуля на рисунке отражены в виде когнитивной графики. Цвет кружков, расположенных слева от измеряемых характеристик определяет состояние данного параметра. В данном примере зеленый цвет определяет то, что параметр находится в допустимых пределах. Желтый цвет определяет выход значения измеряемого параметра за интервал допустимых значений.



Рис. 3. Интерпретация ситуации по интегральному фактору «Информация от приборов учета»

Система представляет собой цифровую платформу для разработки интеллектуальных сенсорных сетей ЖКХ с возможностью дистанционной интеллектуальной обработки разнотипной информации, включающей измерительные потоки данных от приборов, экспертные оценки инженеров и техников, статистические данные обходных журналов, факты и информацию интернет-источников с постоянным подключением производственно-ориентированных сайтов.

Структура интеллектуальной сенсорной сети с интеграцией знаний, данных и генерацией управленческих решений для Северо-Западного территориального управления приведена на рис. 4.

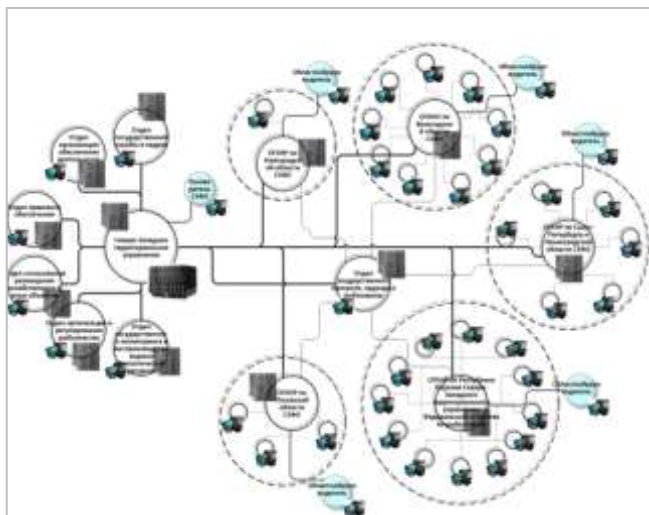


Рис. 4. Структура интеллектуальной сенсорной сети для Северо-Западного территориального управления

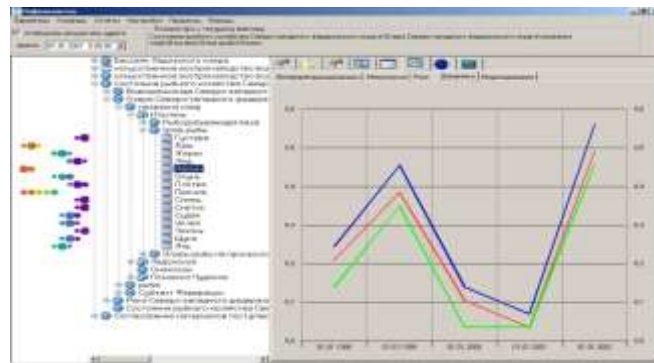


Рис. 5.

На рис. 5 приведены иерархическая модель системы рыбного сообщества Северо-Западного территориального управления и авторегрессионная модель динамики численности популяции рыб. ИИС используется для мониторинга состояния рыбного сообщества и управления рыбохозяйственной деятельностью в СЗФО.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены методологические аспекты и принципы построения цифровых платформ интеллектуальных сенсорных сетей с возможностью дистанционной интеллектуальной обработки разнотипной информации в виде данных и знаний, включающей измерительные потоки данных от приборов, экспертные оценки инженеров и техников, статистические данные, факты и информацию интернет-источников, представленные как в числовой, так и в лингвистической формах.

Такие цифровые платформы предназначены для быстрой разработки интеллектуальных сенсорных сетей различного прикладного назначения.

Функционирование прикладных систем ориентировано на условия значительной информационной неопределенности.

Функционирование ИИС основано на интеграции различных технологий интеллектуальных измерений и обработки информации средствами РБП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Прокопчина С.В. Байесовские интеллектуальные измерения. М.: ИД «Научная библиотека», 2021. 580 с.
- [2] Прокопчина С.В. Основы теории шкалирования в экономике. М.: ИД «Научная библиотека», 2021. 280 с.
- [3] Прокопчина С.В. Когнитивные байесовские измерительные сети на основе регуляризирующего байесовского подхода // Мягкие измерения и вычисления. М.: 2018, №2, с. 56-69.
- [4] Тарасов В.Б., Святкина М.Н. Логическая прагматика в когнитивных измерениях // Нечеткие системы и мягкие вычисления. Труды VI Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, СПИИРАН, 27-29 июня 2014 г.) СПб. Политехника-сервис, 2014. Т.1, с. 155-168.
- [5] Прокопчина С.В. Моделирование и управление процессами цифровизации региональной экономики в условиях неопределенности М. ИД «Научная библиотека», 2021. 397 с.
- [6] Прокопчина С.В. Когнитивные измерения на основе регуляризирующего байесовского подхода. Труды Вольного экономического общества, 2010 г., т. 144.
- [7] Прокопчина С.В., Щербаков Г.А., Ефимов Ю.В. Моделирование социально-экономических систем в условиях неопределенности. М.: ИД «Научная библиотека», 2019. 589 с.