

УДК 004.514

СЕМАНТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В EDGE COMPUTING КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Д. М. НОВИКОВА*(Представлено: Е. И. ЮРЧИШКО)*

В статье рассматривается применение семантических моделей в Edge Computing для анализа и контроля на производстве. Обозначаются преимущества, особенности и перспективы использования интеллектуальных систем с смысловой интерпретацией.

Введение. Согласно концепции Клауса Шваба, ближайшее будущее будет определяться внедрением киберфизических систем в производство [1]. Киберфизическая система – информационно-технологическая концепция, подразумевающая интеграцию вычислительных ресурсов в физические сущности любого вида, включая биологические и рукотворные объекты. Технология Edge Computing – это подход к обработке данных, при котором вычисления выполняются не в централизованном облачном сервере, а ближе к источнику данных, то есть «на границе» сети – становится ключевым элементом таких систем, позволяя снижать задержки, повышать автономность и обеспечивать устойчивость к сбоям [2].

Однако, чтобы добиться максимальной эффективности необходимо разработать такую технологию, которая с точностью сможет интерпретировать знания и полученный контекст для принятия максимально верных и оптимальных решений. Внедрение семантической модели позволит Edge Computing не просто реагировать на события, но и понимать их смысл, выявлять отклонения и сразу же предлагать или применять какие-то действия исходя из ситуации.

Внедрение семантических моделей в Edge Computing позволит отойти от традиционных подходов, основанных на жёстко заданных правилах и нейросетевых предсказаниях, и сделает потребность в человеческом ресурсе для контроля и анализа минимальной.

Использование Edge Computing в производстве трансформирует уже существующие процессы: повысится точность, снизятся простои и затраты, увеличится скорость реакции системы на события, отклоняющиеся от заданной нормы. Такие системы – это шаг в технологическое будущее, где производство сможет работать и без человека.

Основная часть. На современных производствах большинство оборудования, участвующего в производственной цепи уже так или иначе оснащено датчиками температуры, влажности и т.п., однако большинство запрограммировано так что просто измеряют значения и в случае отклонений от нормы подают сигнал на устройство или сервер, отвечающий за это устройство или производственную цепь, а дальше решения по устранению неполадки полностью принимает человек. Также одним из распространенных видов датчиков являются те, что интегрированы в системы с где снятые показания анализирует нейросеть и в случае неисправности (например перегрев) может: отключить станок, включить аварийное охлаждение, остановить процесс, подать звуковой сигнал.

Однако использование такой системы имеет ряд недостатков, потому что бывают нетипичные случаи, требующие срочного вмешательства в процесс, а старые подходы не могут до конца удовлетворить этот запрос, потому что все ещё есть случаи, где привычный потерн действий не сработает, а может даже усугубить ситуацию. Время принятия решения также бывает критически важным на производственных линиях, малейшее промедление может привести к серии брака или поломке оборудования.

Использование Edge Computing способно:

- снизить задержки в принятии решений;
- уменьшить нагрузку на сеть (так как пропадает необходимость передавать данные для анализа и какого-то первичного принятия решений);
- повысить безопасность.

Принцип работы Edge Computing заключается в следующем:

1. Сбор данных (через IoT устройства) [3].
2. Обработка полученных данных (анализ полученных данных на специальном микроконтроллере или шлюзе).
3. Принятие решений на основе полученных данных (зачастую это выдача предупреждения, остановка оборудования, отправка агрегированных данных в облако).

В современном мире Edge Computing это одна из технологий которая скоро будет использоваться повсеместно в связи с увеличением количества объёмов данных для обработки, возросшими требованиями

ми к скорости принятия решений и возможности автономной работы системы (в особенности это важно в ключевых отраслях по типу производства, медицины и т.д.).

Сравнительный анализ существующих систем контроля за датчиками на производстве с системами, сделанными на основе архитектуры Edge Computing представлен в таблице 1.

Таблица 1. – Сравнение стандартных систем и систем Edge Computing

Принцип/параметр	Стандартные системы контроля	Системы с Edge Computing
Место обработки данных	Централизованная: данные передаются на сервер или облако	Локальные: данные обрабатываются на месте, рядом с источником
Архитектура	Монолитная или иерархическая: один центр управления	Распределённая: множество автономных узлов, способных к синхронизации
Скорость реакции на события	Низкая: зависит от передачи, загрузки, обработки, нагруженности сети и т.д.	Высокая: мгновенная реакция на события в реальном времени
Способность работать без связи	При потере связи возможны сбои	Узел может продолжать работу автономно
Количество передаваемой информации на сервер	Высокое: передаются все данные	Низкий: передаются только критические события и агрегированные данные (в форме отчётов)
Интеграция с облаком	Обязательная: для хранения, анализа, принятия решений	Опциональная: для хранения истории
Отдельная настройка конфигурации	Чтобы внести изменения требуется вмешиваться во всю систему	Каждый узел можно настроить отдельно

Однако рассматривая вопрос внедрения Edge Computing на производства, важно не только получить «автономную систему, которая сможет быстро принять решения» но получить «автономную систему, которая сможет быстро принять обоснованные решения, строящиеся сразу на нескольких параметрах и контексте». Для создания такой технологии важно подобрать что-то что будет отвечать за логику и принятие решений в этой системе, при этом это должны быть не запрограммированные действия, а действия схожие с логикой и расчётами человека за исключением того, что на принятие решения должно тратиться минимальное количество времени. Инструментом для решения этих задач может послужить интеллектуальная система, построенная на основе семантического модуля.

В контексте Edge Computing семантическая модель позволяет локальному интеллектуальному узлу не просто фиксировать события, но понимать их значение, выявлять отклонения, интерпретировать причины и формировать логически обоснованные рекомендации.

Семантическая модель – это способ формального представления знаний, смыслов и связей между понятиями в определённой предметной области [4]. Она описывает, как объекты и явления связаны друг с другом на уровне значений, а не просто данных.

Для представления, обработки и обмена знаниями в интеллектуальных системах используется SC-код [5]. Он представляет собой графовый язык, где знания описываются в виде узлов (понятий) и дуг (смысловых связей) и являет собой не просто текст, а систему понятную как человеку, так и машине.

Однако структура моделей использующих SC-код не является фиксированной, то есть новые узлы, связи и понятия могут добавляться, удаляться или модифицироваться в реальном времени, так как такие системы способны обучаться в процессе своей деятельности. Такое развитие в процессе работы делает систему очень гибкой и живой способной к смысловому росту.

Использование семантической модели в периферийных вычислениях на производствах имеет ряд преимуществ, потому что в узкой области достигается более высокая точности формализации, в ней проще выделить все ключевые понятия и связи между ними. Онтология в узкой области может быть более точной, полной и непротиворечивой, что является критичным для логических выводов. Узкие области имеют более компактные и обозримые SC-графы что облегчает поиск ошибок, позволяет проще обновлять модель.

Семантические модели в Edge-системах позволяют более точно выявлять проблемы на аппаратуре и производственной цепи, так просто собрав данные о том, что температура выросла больше допустимых значений, но давление осталось неизменным система отправит репорт на центральный сервер о том, что возможно не исправен датчик, а не остановит весь производственный процесс. Такой подход позволит оптимизировать работу производства, избежать лишних простоев, а также предотвратить большинство глобальных сбоев, ошибок и поломок (проще заменить датчик если проблема окажется в нём, нежели менять целую систему в случае выхода из строя всего аппаратного комплекса).

Сравнительный анализ традиционных систем контроля за датчиками на производстве с Edge-системами с семантическими моделями представлен в таблице 2.

Таблица 2. – Сравнение традиционных систем и Edge-систем с семантическими моделями

Критерий	Традиционные системы контроля	Edge-системы с семантическими моделями
Обработка данных	Пакетная, с задержкой; часто требуется дополнительная предварительная фильтрация	В реальном времени с возможностью смысловой интерпретации
Реакция на события	Зависит от заранее заданных скриптов и правил	Ответ выстраивается логически с учётом контекста и причинно-следственных связей
Объяснимость решений	Низкая: сложно проследить почему было принято то или иное решение; исключениями являются решения, где система действовала по протоколу (в самих протоколах прописан чёткий потерн действий)	Высокая: каждый вывод можно проследить по SC-графу
Гибкость и адаптация	Ограниченная: изменения логики требуют вмешательства разработчиков	Высокая: модель может дополняться и адаптироваться в процессе работы
Устойчивость к сбоям	Повышен шанс возникновения сбоя так как модель имеет прямую зависимость с сервером или облаком	Риски сбоя минимальны так как система может работать автономно даже при потере связи
Масштабируемость в рамках узкой специализации	Требуется вмешательство разработчиков	Может добавлять новые узлы без перегрузки системы
Интерпретация данных	На уровне сигналов, порогов и заложенной логики	На уровне смыслов, понятий и связей

Заключение. Проведённый анализ показывает, что традиционные системы контроля на производстве, основанные на централизованной обработке и фиксированных сценариях, уже не соответствуют требованиям современной индустрии, ориентированной на скорость, автономность и адаптацию. Такие системы способны выполнять базовые функции мониторинга, но не обладают достаточной гибкостью, интерпретируемостью и устойчивостью к нестандартным ситуациям.

В связи с этим индустрия должна задуматься над поиском новых решений, что помогут вывести промышленность на новый уровень. Одним из таких решений могут послужить Edge-системы применяющие в себе семантические модели.

Семантические Edge-системы представляют собой новый класс интеллектуальных решений, способных не только фиксировать события, но и понимать их смысл, анализировать причинно-следственные связи, учитывать контекст и принимать обоснованные решения в реальном времени. Это позволяет перейти от управления, построенного на потернах и правилах к осмысленному и адаптивному контролю, где каждая единица оборудования становится не просто исполнительным механизмом, а полноценным участником производственного процесса.

Благодаря формализации знаний, SC-графам и смысловым процедурам (SCP), такие системы могут:

- выявлять скрытые зависимости между параметрами;
- отличать ложные сигналы от реальных угроз;
- адаптироваться к изменениям в технологической среде;
- объяснять свои действия инженеру-оператору;
- масштабироваться без потери логики и прозрачности.

Особенно важно, что семантические Edge-системы способны работать в условиях ограниченного доступа к облаку, фрагментарных данных и высокой вариативности производственных сценариев. Это делает их незаменимыми в критически важных отраслях – от машиностроения и электроники до фармацевтики и энергетики.

Таким образом, внедрение семантических моделей в архитектуру Edge Computing – это не просто технологическое обновление, а переход к смыслоцентричному производству, где решения принимаются быстро, точно и прозрачно. В ближайшие годы такие системы могут стать основой для построения киберфизических платформ нового поколения, способных к самообучению, объяснению и взаимодействию с человеком на уровне понятий, а не только сигналов.

Именно способность объединить скорость, автономность и смысловую интерпретацию делает Edge-системы с семантическими моделями ключевым элементом цифровой трансформации промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]//Wikipedia – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D1%91%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F – Дата доступа: 15.09.2025.
2. Edge-computing [Электронный ресурс]//Wikipedia – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%B2%D1%8B%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F – Дата доступа: 19.09.2025.
3. IoT-устройства [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%B9 – Дата доступа: 17.09.2025.
4. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.trinidata.ru/files/SemanticModelDesign.pdf> – Дата доступа: 16.09.2025.
5. SC-код [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/ostis-ai/sc-machine> Дата доступа: 16.09.2025.