

УДК 338.364

## Искусственный интеллект для умного производства

М.А.Пирогова, канд. техн. наук; И.Е. Лешихина, канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО НИУ «Московский Энергетический Институт», Москва, Российская  
Федерация

В.А.Краюшкин, канд. техн. наук ООО «Продуктивные Технологические Системы»,  
Москва, Российская Федерация

### Аннотация

***В статье рассматривается применимость искусственного интеллекта для решения задач цифровой трансформации производства и возможности искусственного интеллекта в составе ThingWorx Analytics.***

***Ключевые слова:*** интернет вещей, промышленный интернет вещей, искусственный интеллект, цифровая трансформация.

### Введение

Подходит к концу первое десятилетие повсеместного мирового внедрения так называемого «четвертого промышленного уклада», осознание неизбежности которого привело к появлению таких понятий, как «четвёртая промышленная революция», «индустрия 4.0», «цифровая трансформация производства», «промышленный интернет вещей» [1]. Уже сейчас становится ясно, что суть необходимых кардинальных изменений состоит в том, чтобы всю совокупность информационных процессов, определяющих, сопровождающих и контролирующих промышленное производство, перевести на принципиально новый уровень, который характеризуется широким, если не тотальным, охватом всех этапов производства, а в случае дискретного производства – всех этапов жизненного цикла изделия. Наполнение каждого из этапов многочисленными автоматизированными и автоматическими информационными подсистемами, обязательность их освоения как критерий технической и технологической успешности предприятия, постоянный рост их коммуникативных и интеграционных возможностей - всё это стало твёрдой основой такого понятия как «умное производство» – Smart Manufacturing.

В нашей повседневной речи уже несколько лет как укоренились понятия «умная вещь», «умный дом», «умный транспорт», «умный квартал» - термины из лексикона Интернета вещей, где понятие «умный» (русскоязычный эквивалент англоязычного термина Smart, а точнее – Smart Connected) расшифровывается как «интеллектуальный, подсоединённый», что подразумевает в концепции Интернета вещей объединение на основе каких-либо сетевых структур (как правило – беспроводных, гибких к реорганизации информационного трафика, мобильных) адресуемых, программируемых, автоматически обрабатывающих информационные потоки компонент. Такими компонентами могут быть многочисленные автоматические цифровые сенсоры, автоматические устройства, анализаторы цифровых данных, коммутаторы информационных потоков, объединяемые на основе постоянно совершенствуемых стратегий взаимодействия в единое, автоматически решающее заранее поставленные задачи, «сообщество», Интернет вещей - IoT.

### **Цифровая трансформация: задачи из области искусственного интеллекта**

Давайте теперь посмотрим на современное промышленное производство в аналогичных Smart-понятиях. На данном этапе будем рассматривать только дискретное производство. До непрерывного тоже время дойдет и очередь наступит, но мы пока посмотрим на более чётко структурированное дискретное производство. Тут, как и для интернета вещей, есть понятие «умный присоединённый» компонент, есть стандарты на интеграцию информационных потоков, есть даже стандартизуемые протоколы единой производственной сетевой (даже беспроводной) коммуникации, есть широчайшая номенклатура цифровых (даже программируемых) сенсоров (технологических процессов, окружающей среды, состояния производства и т.д.). Что же касается «умных» присоединённых автоматических исполнительных устройств, то тут промышленность богато оснащена всевозможными автоматическими линиями, разнообразными устройствами с ЧПУ, роботами и роботизированными линиями и т.д. А наличие постоянно совершенствующихся информационных потоков специализированных производственных данных, необходимых для успешного выполнения всем этим множеством «умных» компонент задач промышленного производства, дополняет картину этого получающегося интернета умных производственных вещей. И в целом вся эта совокупность определяет

«Индустриальный интернет вещей» - IIoT - как концептуальную основу для «Умного производства» - Smart Manufacturing.

Переход к цифровому производству требует от предприятия обеспечения постоянного потока данных из подключенных «умных вещей» - установленного производственного оборудования, рабочих постов и автоматизированных линий. Полнота охвата и актуальность такого потока необходимы для перехода к автоматизации принятия решений и обеспечения бесшовной интеграции операций. К сожалению, многие предприятия в настоящее время страдают от недоступности информации, невозможности её получения от всех единиц установленного оборудования. Эти недостатки не дают возможности получить постоянный доступ к необходимой информации, что в свою очередь сдерживает процесс быстрого принятия решений.

Можно обозначить основной перечень проблем, которые необходимо решить при построении действительно «умного производства», полностью соответствующего текущему пониманию Промышленного Интернета Вещей (IIoT). Основные проблемы перехода к «умному производству» это:

- Наличие установленного оборудования без возможности быть подключенным в сеть, наличие неподключенного в единую сетевую структуру «умного» оборудования. Для решения этой проблемы при переходе к умному производству необходимо эффективно решать проблему гибкой адаптивной маршрутизации;
- Использование на отдельных автоматизированных участках информационных процессов, использующих разнотипные и разноформатные данные. Для решения этой задачи необходимо наличие универсальной корпоративной «шины» производственных данных, единой для всех сегментов информационной коммуникационной структуры (сети);
- Устаревающая ко времени анализа публикуемая отчётная производственная информация. Для решения этой проблемы необходимо применение «быстрого» анализа на основе нечеткой логики, предиктивной аналитики и прочих передовых приёмов качественного ускорения анализа данных;
- Обслуживание активов «по регламенту» (в то время, как требуется «по состоянию»). Для решения этой проблемы необходимо наладить постоянный on-line контроль

информационного потока данных от сенсоров установленного оборудования и, как в предыдущем случае, разработки «быстрой» аналитики этого потока (потока Big Data);

- Существующий разрыв в передаче навыков эффективного выполнения операций от квалифицированных операторов новым работникам и недоступность «знаний». Для решения этой проблемы необходимо наладить функционирование «базы знаний», интеллектуального актива умного производства;
- Функциональная обособленность (инжиниринг, производство, сбыт/обслуживание). Для решения этой проблемы необходима глубокая интеграция информационных процессов на стыках функционалов.

Цифровая трансформация производства, предназначенная снимать все эти проблемы, требует разработки всё большего числа приложений промышленного интернета вещей (IIoT), а для эффективной, быстрой и продуктивной разработки прикладных решений IIoT нет иного пути, кроме применения платформы разработки IIoT решений. Однако, как показывает опыт промышленной разработки приложений для умного производства IIoT, те проблемы, которые перечислены выше, в условиях сложной и разветвлённой, динамически перестраиваемой производственной структуры не могут быть быстро и эффективно решены на основании использования линейного программирования, типовых библиотек алгоритмов в рамках традиционного программирования.

В своих публикациях [2] авторы уже рассматривали необходимость ускорения процесса разработки информационных составляющих IIoT на основе платформ IIoT, позволяющих так или иначе обойти проблемы неэффективности «традиционного» программирования. Если рассмотреть вышеперечисленные проблемы, то задача адаптивной маршрутизации информационных потоков, разработка методики предиктивной аналитики, обслуживание и обработка Big Data в режиме on-line, выбор и формализация интеллектуальной составляющей формируемой базы знаний – все это либо типовые задачи искусственного интеллекта ( Artificial Intelligence – AI), либо сводимые к ним задачи.

## Искусственный интеллект в структуре платформы IIoT

Рассмотрение наиболее популярных IIoT-платформ и практическое знакомство с работой в некоторых из них позволяет сделать выводы о возможности их использования как сред разработки AI-решений для перечисленных выше проблем цифровой трансформации. В опубликованном в мае этого года отчете о возможностях разработок в AI на рыночных платформах IoT [3] среди наиболее продвинутых IoT-платформ для разработок AI-приложений названы и две платформы IIoT- это PREDIX (компания GE) и ThingWorx (компания PTC). Поскольку платформа PREDIX – это проприетарное IIoT-решение для производственных подразделений, заводов и аффилированных предприятий к General Electric, то более универсальным для всех участников индустриального сектора при рассмотрении возможности AI в IIoT могла бы быть платформа ThingWorx.

Совокупность средств и методов комплексного решения цифровой трансформации, решений для построения умного производства, в терминах PTC, носит название Smart Manufacturing и позволяет ведущим производителям по всему миру пересматривать свою стратегию для адаптации к новым требованиям рынка.

Применение платформы ThingWorx, как провозглашает это компания PTC, позволит организациям, стремящимся при цифровой трансформации производства работать над применением AI, достигать следующих результатов:

- Применять унифицированные возможности адаптивного подключения – один унифицированный источник данных предоставляет оперативную информацию в реальном времени от различных датчиков, систем и внешних источников;
- Осуществлять идентификацию в реальном времени – состояние и производительность ресурсов, производственных процессов и качества продукции контролируются в режиме реального времени. Отклонения и предупреждения передаются через текстовые, электронные, веб- и мобильные панели мониторинга;
- Выполнять интеллектуальный анализ на основе ролей – доступ к оперативной информации в режиме реального времени и действия, основанный на ролях, позволяют принимать эффективное и быстрое решение;

- Реализовать прогностическую аналитику – вопросы обслуживания, качества и производительности прогнозируются в режиме реального времени путем применения машинного обучения (Machine Learning - ML) к данным из различных источников, сенсоров и бизнес-систем;
- Интегрировать информационные потоки от предприятий-поставщиков – решение предоставляет возможность включать в информационный контур управления статус производства и качество работы поставщиков с использованием кросс-соединения IoT;
- Выполнять динамическую оценку производительности – на основе применения стандартизированных KPI.

ThingWorx - модульная масштабируемая технологическая платформа с широкими возможностями в области интеллектуального анализа производственных мощностей (EMI). Платформа может применяться для быстрой разработки приложений и информационных панелей на основе ролей, развитыми средствами интеллектуальной и предиктивной аналитики, технологиями машинного обучения и возможностями интерактивной визуализации с использованием дополненной реальности (AR). Решение PTC Kerware, используемое для создания ThingWorx Industrial Connectivity, дополнительно расширяет эти возможности, добавляя адаптивную коммуникацию в среду промышленной автоматизации.

Платформа ThingWorx имеет модульную структуру, в центре которой находится базовое функциональное ядро, к которому по мере появления потребности предприятия в том или ином функциональном подмножестве цифровой трансформации могут быть добавлены соответствующие модули. Платформа ThingWorx (см. рис.1) состоит из ядра - ThingWorx Foundation, модуля реализации функций искусственного интеллекта ThingWorx Analytics, модуля адаптивной коммуникации с автоматическим производственным оборудованием ThingWorx Industrial Connectivity, модулем анализа производительности установленного оборудования ThingWorx Manufacturing Apps и Accelerators. Для разработки приложений дополненной реальности, или, как это звучит в терминах IIoT – AR-Experiences, служащих для формирования базы знаний предприятия, в структуре ThingWorx предусмотрен модуль ThingWorx Vuforia Studio – Vuforia Augmented Reality.

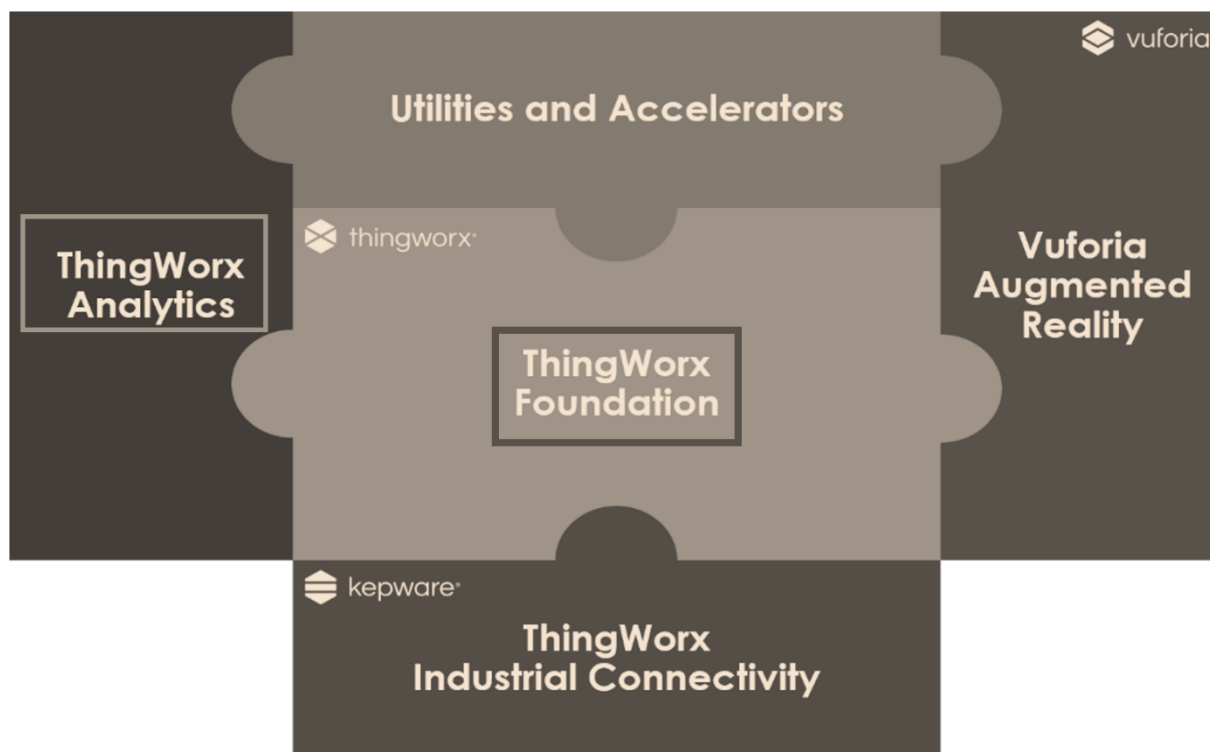


Рис.1. Модульная структура ThingWorx - платформы IIoT от компании PTC

Для нашей статьи наиболее существенными являются в данной структуре возможности, которые для разработки AI решений как составной части IIoT предоставляют ядро (ThingWorx Foundation) и модуль ThingWorx Analytics.

### **ThingWorx Foundation**

ThingWorx Foundation использует структурированную модель данных «Smart Thing», информационную модель сервисов, в том числе сервисов работы с информационной моделью «Smart Thing» - ThingModel, унифицированное описание пространства событий, возможности оповещения и предупреждения при наступлении событий или выявления условий их наступления. В ThingWorx используется настраиваемая коммуникационная

среда, предназначенная для подключения датчиков, изделий и оборудования, определяемых в терминах «Smart Thing». Реализующая следующие технологии связи:

- Технология, совместимая с брандмауэром;
- REST API;
- SDK (Java, .NET, C, iOS, Android, ...);
- Использование защищенных агентов и шлюзов для обеспечения достоверности актуальных данных;
- Применение технологии AlwaysOn (Edge MicroServer) для прямого доступа к связанным вещам (экземплярам Smart Thing);
- Предоставление сертифицированного партнерского оборудования ThingWorx Ready, которое предварительно протестировано для подключения к IoT Suite PTC.

ThingWorx Foundation – это решение для облачного развертывания, обеспечивающее безопасный сбор и обработку данных об изделиях (Smart Things) и датчиках (подключенных интеллектуальных сенсорах). Характеристики облака ThingWorx:

- Возможны гибкие варианты развертывания - опции Cloud, On-Premise и Embedded, позволяющие предприятию выбрать лучший вариант;
- Масштабируемая среда, практически не имеющая ограничений на вычислительные ресурсы и платформу;
- Гибкие варианты организации хранения, включая DataStax Enterprise.

Внутренний модуль ThingWorx Foundation - ThingWorx Application Enablement - специализированная среда разработки приложений IoT, позволяющая сократить время, стоимость и риски, связанные с созданием новых инновационных приложений IoT. Решение отличается двумя характеристиками: время сборки и время выполнения. Время сборки включает в себя технологию для создания информационных моделей «умного оборудования» в промышленном решении IoT, при этом время выполнения – это средство формирования условий для выполнения и управления этими моделями.

Внутренний модуль ThingWorx Foundation - ThingWorx Composer - среда визуальной разработки, позволяет моделировать сервисы, хранилища, события, совместную работу и поведение вещей, что обеспечивает высокий уровень эффективности и возможность повторного использования. ThingWorx Composer предоставляет разработчику интерфейс конфигурации, разработки и операций с ThingModel.



Внутренний модуль ThingWorx Foundation - ThingWorx Mashup Builder – среда, которая позволяет разработчикам создавать адаптированные приложения, веб-интерфейс и мобильный пользовательский интерфейс, включает в себя инструменты аналитики и информационные панели, помогая быстрее решать проблемы и принимать решения на основе данных.

### **ThingWorx Analytics**

Модуль ThingWorx Analytics использует сложную технологию искусственного интеллекта и машинного обучения для решения конкретных задач, связанных с промышленными данными IoT. Благодаря автоматизации, ThingWorx Analytics предоставляет актуальную и корректную информацию в реальном времени для приложений и IoT-событий, созданных на платформе ThingWorx.

ThingWorx Analytics предназначена для упрощения и автоматизации комплексного аналитического процесса для разработчиков решений IIoT, которые могут не иметь опыта в области моделирования данных, сложной математики, статистического анализа, искусственного интеллекта или машинного обучения. Именно модуль ThingWorx Analytics и предназначен решать AI задачи IIoT, которые являются типовыми для процесса цифровой трансформации.

Какие AI или сводимые к AI задачи, возникающие при создании умного производства, решает модуль ThingWorx Analytics:

- **Предиктивное моделирование.** Подключает контролируемое машинное обучение к решениям IIoT. Расширяет практику использования данных за счет автоматического прогнозирования и предписывающей аналитики. Пользователям, применяющим предиктивное моделирование в ThingWorx Analytics, не требуются знания алгоритмов. ThingWorx Analytics изучает имеющиеся данные и использует технологию AI для автоматической сборки, проверки и оценки прогнозирующих моделей;
- **Расширенная аналитика.** Позволяет лучше понять данные, формируемые в пространстве IIoT. Благодаря уже заложенному в модуль множеству современных алгоритмов, аналитические процедуры дают возможность пользователям находить полезные

шаблоны и выявлять зависимости в данных. Анализ не требуется для создания прогностических моделей, но он может обеспечить лучшее понимание сгенерированных моделей;

- Обнаружение аномалий: мониторинг непрерывных и циклических потоков данных для выявления неожиданных изменений в поведении. Использует технологию машинного обучения (ML) для наблюдения и изучения «нормального» шаблона состояния для каждого потока, а затем индивидуально контролирует аномалии по каждому входному потоку. Результат обнаружения аномалий в реальном времени может быть легко интегрирован в решение для разработчиков, чтобы помочь пользователям или системам принять меры реагирования на отклонение;
- Предиктивный подсчет: позволяет предсказать будущие результаты. Функциональность ThingWorx Analytics включает возможность делать прогнозы на основе данных в ThingModel. Соответствующие прогнозы на основе результатов (время до сбоя, ошибки в час и т. д.) могут легко быть добавлены в приложения за счет подписки на события в ThingModel. Предиктивный подсчет может осуществляться не в облачных данных, а на стороне «умной вещи», для которой в ThingWorx Foundation создан свой ThingModel. Модели прогнозирования, созданные ThingWorx Analytics, могут быть включены в решения IIoT;
- Предписывающий подсчет: позволяет улучшить прогнозируемую производительность и оценить точность результатов. Автоматически выполняет имитационное моделирование для получения рекомендаций по оптимизации производительности при выпуске изделия или по оптимальности выполнения процесса. Работает как часть ThingWorx Analytics для определения ключевых факторов, вызывающих определенный результат, и для определения того, какие факторы следует изменить и на сколько это изменение позволит улучшить результат. В предписывающем подсчете используются модели прогнозирования, созданные ThingWorx Analytics;
- Цифровое моделирование: моделирование поведения физических изделий в цифровом мире. Модели обеспечивают получение точных данных о конкретном изделии. Изучение этих моделей осуществляется параллельно тому, как изделие работает в реальном мире. Это позволяет принимать решения на протяжении всего жизненного цикла и влиять на то, как реальные изделия обслуживаются, управляются и улучшаются.

Цифровое моделирование в составе ThingWorx Analytics – основа для применения «цифровых двойников» (Digital Twins)

В состав функционала ThingWorx Analytics встроено шесть «стандартных» алгоритмов машинного обучения (ML), которые можно дополнительно настроить, изменяя значения ключевых параметров.

**Linear Regression (Линейная регрессия):** Алгоритмы, основанные на построении регрессии (минимизации среднеквадратической ошибки). Быстро обучаются, но позволяют восстанавливать только простые зависимости из-за ограниченного количества параметров – коэффициентов линейной регрессии (степеней свободы).

**Logistic Regression (Логистическая регрессия):** Логистическая регрессия — это метод обучения в задаче бинарной классификации (результат, т.е. целевая функция, может принимать значения 0 или 1).

**Decision Tree (Решающие деревья):** Решающие деревья — это семейство алгоритмов, которое сильно отличается от линейных моделей и моделирует процессы принятия решений у людей (в виде последовательности простых вопросов). Цель алгоритма - создать модель, которая предсказывает значение целевой переменной на основе нескольких переменных на входе.

**Random Forest (Случайный лес):** Случайный лес – алгоритм машинного обучения, заключающийся в использовании ансамбля решающих деревьев. Основная идея заключается в использовании большого ансамбля решающих деревьев, каждое из которых само по себе даёт очень невысокое качество классификации, но хороший результат получается за счёт больших чисел. Алгоритм применяется для задач классификации, регрессии и кластеризации.

**Gradient Boost (Градиентный бустинг):** Подразумевает последовательное построение композиции базовых алгоритмов, каждый следующий из которых исправляет ошибки предыдущих.

**Neural Net (Нейронная сеть):** Нейронная сеть — это универсальная модель, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей, т.е. последовательность нейронов, соединенных между собой. Каждый нейрон — это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше.

ThingWorx Foundation вместе с ThingWorx Analytics, позволяют получать ценную информацию, анализируя, моделируя и прогнозируя поведение и производительность изделий и систем, используя расширенные возможности аналитики и информационные модели IoT. После того, как данные были поставлены в ThingWorx Analytics, требуется всего несколько минут, чтобы сканировать данные и построить интеллектуальную модель для ответа на конкретные бизнес-вопросы. ThingWorx включает встроенные возможности обнаружения аномалий в ThingWorx Composer, упрощая реализацию возможностей аналитики в приложениях и позволяя организациям быстрее достигать успеха и сокращать незапланированные простои.

## **Заключение**

Развертывание умного производства, Smart Manufacturing, цифровая трансформация производства невозможны без эффективного решения задач из области искусственного интеллекта. Поскольку практика цифровой трансформации предусматривает обязательное применение платформы разработки IoT-решений, то качество платформы IoT определяется в том числе и по тому, как на такой платформе можно решать задачи искусственного интеллекта. Надёжной и эффективной платформой, в этом плане оказывается платформа ThingWorx от компании PTC. Модуль ThingWorx Analytics в сочетании с ядром платформы – ThingWorx Foundation – позволяет применять на промышленном уровне алгоритмы и методы искусственного интеллекта. Для получения дополнительной информации как по возможностям применения AI средствами ThingWorx, так и по особенностям развертывания решений на основе такой платформы, все интересующиеся могут связаться с Российским представительством компании или с её привилегированными партнёрами, например, с компанией «ПТС» (<http://pts-russia.com>) или авторами настоящей статьи – сотрудниками компании «ПТС».

## Литература

1. The Industrial Internet of Things, Volume B01: Business Strategy and Innovation Framework. ИС:ПУБ:В01:V1.0:РВ:20161115, -2016. p.p. 20-28
2. Стратегия выполнения цифровой трансформации дискретного производства / М.А.Пирогова, И.Е.Лешихина, В.А.Краюшкин, / ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ (ИТПП), №3, 2018. Стр.10-16.
3. Global Artificial Intelligence in IoT Market Growth (Status and Outlook) 2019-2024: ICT Media LP INFORMATION. Pages :132 (Published Date : 2019-05-10)

### Artificial Intelligence for Smart Manufacturing

М.А.Pirogova, I.E.Leshikhina

National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Moscow, Russian Federation

V.A.Krayushkin

LLC PTS, Moscow, Russian Federation

#### Abstract

***The article considers the implementation of AI for the digital transformation tasks in smart manufacturing and AI-power of ThingWorx IIoT-platform***

***Keywords:*** Internet of Things, Industrial Internet of Things, Artificial Intelligence, Digital Transformation