



ТЕРМИНЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТРАСЛЕЙ: ИХ ПОЯСНЕНИЕ, СОДЕРЖАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Э.Л. Ицкович (ИПУ РАН)

Разъясняются научно-технические термины, применяемые при автоматизации, информатизации и цифровизации предприятий технологических отраслей в условиях Industry 4.0. Обсуждаются практические мероприятия, которые должны быть реализованы в соответствии с описанными терминами.

Ключевые слова: Industry 4.0, цифровое предприятие, искусственный интеллект, Industrial Internet of Things, виртуальная и дополненная реальность, предсказательная аналитика, машинное обучение, глубокий анализ данных.

Введение

Последние десятилетия отмечены массой введенных новых программных и технических компонентов в область автоматизации промышленных предприятий. Естественно, что эти компоненты имеют собственные наименования, аббревиатуры, термины, обозначения. Кроме того, модифицируется содержание ряда ранее применяемых компонентов с уже давно известными обозначениями и терминами. Без пояснения обозначений компонентов, раскрытия их содержания, рассмотрения особенностей использования компонентов при автоматизации и цифровизации предприятий трудно разобраться во многих аспектах необходимого развития автоматизации предприятий с целью достижения ими уровня концепции Industry 4.0.

Одновременно отметим, что содержание многих компонентов автоматизации и их роль в решении ряда проблем автоматизации различаются на предприятиях класса технологических отраслей от предприятий класса машиностроительных отраслей. При этом большинство программных и технических средств и систем автоматизации, а также их методов построения, внедрения и эксплуатации ориентированы на определенный класс отраслей.

Предприятия класса технологических отраслей. Производство предприятий технологических отраслей — это последовательность технологических агрегатов, в которых происходят процессы преобразования входных сырьевых компонентов газового, жидкого, твердого вида в полуфабрикаты; их хранение в накопителях-емкостях; смешение в заданных соотношениях в емкостях или в потоке полуфабрикатов, что создает готовый продукт заданного номинала и качества. К этому классу отраслей относятся предприятия химии, минеральных удобрений, цемента, нефте- и газодобычи, нефтепереработки, нефтехимии и пр. Отдельные производственные цеха заводов черной и цветной металлургии, энергетических, цел-

люлозно-бумажных, пищевых и ряда других типов предприятий также в отношении их автоматизации относятся к данному классу.

Предприятия класса машиностроительных отраслей. Производство предприятий машиностроительных отраслей — это последовательность разных промышленных установок, станков и механизмов дискретного преобразования исходных партий сырьевых материалов, которые путем определенной последовательности операций их обработки преобразуются в заданные детали, которые затем поступают на производственные участки сборки конечного продукта. К этому классу отраслей относятся предприятия станкостроения, приборостроения, вычислительной техники, обувной, текстильной, мебельной промышленности и пр.

Подчеркнем отличия современного развития предприятий в этих классах отраслей, непосредственно затрагивающих методы их автоматизации:

— все более широкое внедрение роботов различного типа для работы на производственных линиях цехов относится к предприятиям класса машиностроительных отраслей и не касается (по крайней мере, в настоящее время) агрегатов цехов предприятий класса технологических отраслей;

— развивающееся направление новой взаимосвязи производителя продукции и ее приобретателя, заключающееся не в покупке им продукции, а в ее аренде у производителя, относится только к предприятиям класса машиностроительных отраслей и не имеет отношения к предприятиям класса технологических отраслей;

— индивидуальное производство с выпуском продукции на заказ может иметь для предприятий класса технологических отраслей достаточно ограниченный характер;

— на предприятиях класса технологических отраслей содержание и формы контроля, учета и управления производством и его отдельными объектами отличны от содержания и форм этих функций на предприятиях класса машиностроительных отраслей.

Общее ознакомление почти со всеми обозначениями рассматриваемых компонентов можно получить в Википедии. Однако содержание и применение компонентов определенных наименований *применительно к предприятиям рассматриваемых отраслей промышленности* в подавляющем большинстве случаев требует добавочного пояснения, обоснования, конкретизации, уточнения, коррекции, дополнительной расшивки.

Ниже рассматриваются термины компонентов, используемых при автоматизации, информатизации и цифровизации предприятий *класса технологических отраслей*, раскрывается содержание этих компонентов и конкретизируются особенности их практического внедрения и использования. Во многих случаях, изложенное здесь содержание терминов может несколько отличаться от описанного в разных статьях содержания этих терминов при автоматизации предприятий другого класса отраслей и, соответственно, при разъяснениях этих терминов в источниках Internet.

Хозрасчетное положение предприятия на рынке, влияющее на целесообразный метод руководства развитием его автоматизации

Рыночная хозрасчетная модель организации трудового процесса — это симбиоз экономического, технологического, организационного и других процессов, имеющих на предприятии, обеспечивающий конкурентоспособность предприятия в рыночных условиях.

Самостоятельно работающее на рынке предприятие. Завод, который не связан ограничениями по планированию и производству продукции с другими организациями и работает на рынке независимо, являясь отдельной хозрасчетной единицей.

Предприятие, входящее в кластер. Кластер — это горизонтальная кооперация сконцентрированных по географическому признаку групп взаимосвязанных компаний: промышленных предприятий, поставщиков услуг, а также связанных с их деятельностью организаций (например, университетов, торговых объединений) ведущих совместную работу.

Предприятие, входящее в холдинг. Холдинг (Businessman.ru) — это вертикально интегрированная корпорация, состоящая из главной компании и ряда предприятий, деятельность которых регулируется с помощью контрольного пакета акций. Часто этот ряд предприятий реализует цепь от добычи сырьевых компонентов до производства из них продукции и ее реализации потребителю. Предприятия холдинга большей частью не являются самостоятельно работающими на рынке единицами, они работают в режиме «процессинг», который обозначает, что их функциями является переработка заданного им количества сырья в заданный им набор продуктов.

Важно.

1. В условиях рыночной экономики, если предприятия входят в кластер или холдинг, то рассматри-

вается конкурентоспособность не отдельных предприятий, а кластеров или холдингов — объединений организаций и предприятий, способных эффективно использовать внутренние ресурсы кооперации [1].

2. Ни в кластере, ни в холдинге отдельное предприятие не должно самостоятельно разрабатывать и реализовывать планы развития автоматизации, поскольку для повышения эффективности работы кластера и холдинга требуется согласованное, взаимно увязанное рассмотрение всех нововведений, требующих финансирования от общего руководства.

3. Выделение финансов на любые совершенствования работы их членов и в кластере, и в холдинге должно делать общее руководство или совет представителей всех организаций, входящих в кластер или холдинг с обоснованием этих работ по анализу текущего состояния всех членов данной хозрасчетной единицы.

Наименования типовых систем автоматизации предприятия

Иерархические уровни управления предприятием.

Каждое предприятие имеет три иерархических, информационно взаимосвязанных уровня управления: нижний уровень — управление производственными объектами; средний уровень — управление производственными цехами и службами; верхний уровень — управление бизнес-отделами предприятия.

АСУ — автоматизированная система управления любым, отдельным производственным объектом (АСУТП — автоматизированная система управления технологическим процессом). АСУ является эргатической, то есть человеко-машинной системой управления. При ее создании необходимо разрабатывать как машинную (автоматическую), так и операторную (человеческую) составляющие, чтобы они работали, дополняя друг друга, имели бы единые цели и критерии качества работы.

MES (manufacturing execution system) — комплекс систем автоматизации производственных служб предприятия: диспетчерской, производственной, технологической, экономической, механической, энергетической. Комплекс этих систем базируется на информационной платформе MES, собирающей, сохраняющей, обрабатывающей и представляющей необходимую информацию службам от всех систем контроля и управления производственными объектами предприятия.

ERP система (Enterprise Resource Planning) — комплекс систем автоматизации всех бизнес-подразделений предприятия: планового, финансового, бухгалтерии, снабжения, продажи продукции, кадрового и т. д.

LIMS (Laboratory Information Management System) — система автоматизации функций производственных лабораторий предприятия. Она автоматизирует работы по сбору в цехах проб сырья, полуфабрикатов, продукции для анализа, по проведению анализов в лабораторных приборах, по формированию отчетности

лабораторных результатов и по передаче их в производственные цеха.

Важно.

1. Часто встречающееся понимание термина «АСУ» как автоматической системы управления совершенно неверно. Оно приводит к тому, что операторную (человеческую) составляющую АСУ не согласовывают с машинной частью, что отрицательно сказывается на качестве работы АСУ.

2. Системы уровня АСУ, MES, ERP охватывают автоматизацией все уровни контроля, учета, планирования и управления предприятием.

3. LIMS через информационные связи обеспечивает персонал технологических агрегатов, технологов, руководителей производственных цехов текущими данными о качественных характеристиках используемых сырьевых компонентов, вырабатываемых агрегатами полуфабрикатах, выпускаемых предприятием готовых продуктов.

4. Все системы перечисленных классов должны непрерывно обмениваться информацией и корректировать содержание и параметры своих функций по получаемым в режиме реального времени сообщениям от других систем.

Термины разработки (развития) систем автоматизации производства

Уровень автоматизации предприятия — конкретное содержание имеющихся автоматических средств и систем производственных объектов, производственных служб, бизнес отделов предприятия: их характеристики, автоматически реализуемые функции, достоинства, недостатки, особенности.

Бенчмаркинг (Benchmarking) [2] — оценивание существующих уровней автоматизации производства, а также отдельных средств и систем автоматизации на передовых предприятиях данной отрасли и сопоставление их с уровнем автоматизации и отдельными средствами и системами автоматизации обследуемого предприятия. Подход позволяет установить и конкретно описать целесообразное развитие существующего уровня автоматизации, а также оценить и обосновать эффективность предлагаемого развития.

Дорожная карта развития автоматизации предприятия в направлении достижения уровня концепции Industry 4.0 — создание концепции развития автоматизации: определение, конкретизация и обоснование мероприятий по перспективному развитию автоматизации, информатизации и цифровизации предприятия; целесообразная последовательность их реализации, требуемые ресурсы, возможные сроки реализации отдельных мероприятий, оценка и обоснование их эффективности.

Важно.

1. Оценка текущего уровня автоматизации и сопоставление его с имеющимся уровнем автоматизации передовых предприятий данной отрасли является необходимым фундаментом для разработки концепции развития автоматизации.

2. Как показывает анализ существующего развития автоматизации на более чем 25 предприятиях различных технологических отраслей, без наличия обоснованной, конкретной концепции развития автоматизации предприятия невозможно эффективно повысить его уровень автоматизации и, тем более, достигнуть уровня концепции Industry 4.0.

Термины оценки работы автоматизированных систем управления

Эффективность работы АСУ — комплексное понятие, которое состоит из ниже перечисленных компонентов:

— *экономический* компонент, то есть та часть эффективности, которая обоснованно пересчитывается в дополнительную прибыль предприятия;

— *технический* компонент, который принципиально не может быть экономически обчислен, например, из-за отсутствия исходных данных для пересчета эффекта в дополнительную прибыль, но может быть качественно обоснован;

— *социологический* компонент, заведомо влияющий на удобство работы персонала с системой автоматизации, повышающий реактивность и качество принимаемых персоналом решений, но не имеющий каких-либо количественных характеристик;

— *экологический* компонент, который не только уменьшает или исключает аварийные загрязнения предприятием окружающего пространства: воздуха, воды, почвы; но и, будучи даже в пределах заданных нормативов, то есть без опасности наложения штрафов за загрязнение среды, снижает вредные воздействия в окружающую среду.

Важно.

1. Подавляющее большинство руководителей предприятий (согласно их запросам и результатам обследования автоматизации производства на предприятиях) понимают под эффективностью автоматизации *только полученную предприятием дополнительную прибыль*, что совершенно неправильно и существенно искажает рациональные методы развития автоматизации.

2. Подчеркнем, что внедрение отдельных систем автоматизации может не быть эффективным ни по одному из перечисленных компонентов, но является необходимым фундаментом для построения других эффективных систем.

Качество внедрения АСУ — данное понятие включает результаты этапа внедрения АСУ, позволяющие включить АСУ в промышленную эксплуатацию: нормальная (соответствующая заданным требованиям) эксплуатация всех программных и технических средств АСУ; подтвержденное проверкой полное освоение системы автоматизации работающим и обслуживающим АСУ персоналом; экспериментальное определение достигнутых показателей по всем компонентам эффективности работы АСУ.

Важно.

Широкое распространение на предприятиях имеют следующие недостатки проведения этапа внедрения:

— неполное освоение персоналом предприятия работы и обслуживания системы автоматизации за время проведения этапа внедрения, что сказывается на эффективности работы АСУ во время ее промышленной эксплуатации;

— отсутствие экспериментального определения реально достигнутых показателей эффективности работы внедренной АСУ, что не позволит сравнивать эффективность работы АСУ в момент ее ввода в промышленную эксплуатацию с эффективностью в разные периоды ее промышленной эксплуатации.

Деградация функционирования АСУ — снижение эффективности работы АСУ во время ее промышленной эксплуатации, определяемое периодическим анализом ее текущей эффективности работы и сопоставлением результата с данными, полученными при оценке эффективности на этапе ее внедрения.

Важно.

Практически, чем более сложная и объемная система автоматизации и чем менее стабилен автоматизируемый объект, тем скорее деградирует система и тем чаще следует оценивать уровень деградации АСУ и корректировать ее параметры.

Интеллектуальные средства и системы автоматизации

Методы искусственного интеллекта [3] — возможность различных средств/систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека. В частности, ими являются способность средства/системы к самообучению и запоминанию полученных на основе опыта знаний, что позволяет средству/системе создавать в ходе самообучения программы для решения задач определенного класса (например, задач контроля, прогноза, управления) и решать эти задачи. Существует ряд классов средств/систем, использующих эти методы.

Ниже приводятся внедряемые при развитии автоматизации производства средства/системы, использующие методы искусственного интеллекта.

Нейронная сеть (искусственная нейронная сеть) [4] — аппаратно-программное средство, построенное по принципу организации и функционирования сетей нервных клеток живого организма. Она не программируется, а самостоятельно обучается решению заданной задачи по анализу множества имеющихся в компьютере конкретных примеров исходных данных и соответствующих им решений задачи. Имеющееся множество конкретных примеров подразделяется на две части: обучающую и контрольную выборки. По обучающей выборке сеть обучается решению заданной задачи, а по контрольной выборке вычисляется ошибка полученного решения. Обучение заключается в целенаправленном изменении коэффициентов связей между отдельными элементами сети. В процессе обучения нейронная сеть выявляет зависимости между исходными данными и решением задачи и выполняет обобщение; то есть получает решение на основании исходных данных, которые отсутствовали в обучающей выборке.

Машинное обучение (machine learning) [5] — класс методов искусственного интеллекта, реализуемый компьютером, когда он решает поставленную задачу без заданной ему программы, а самостоятельным обучением в процессе рассмотрения имеющихся решений множества задач, сходных с поставленной. Решение получается в результате обучения по прецедентам и основано на выявлении эмпирических закономерностей (знаний) в рассматриваемых компьютером задачах.

Глубокий анализ данных (data mining) — это исследование и обнаружение в текущих данных скрытых знаний, которые ранее не были известны, нетривиальны, практически полезны, доступны для интерпретации персоналом. В частности, для выявления в получаемых на производстве множестве текущих данных тех деталей, которые являются источниками для формирования рекомендуемых или необходимых управляющих решений, используются специальные многослойные (учитывающие динамические связи) нейронные сети.

Важно.

1. Массовое применение понятия «интеллектуальный» (интеллектуальный датчик, интеллектуальное средство, интеллектуальная система) в статьях, в докладах на конференциях, в рекламе продукции на выставках не имеют ничего общего с реальным применением в этой продукции методов искусственного интеллекта. Это чисто рекламная заставка к предлагаемой продукции, поскольку термин «интеллектуальный» в области автоматизации находится на вершине моды.

2. Приведенные в данном разделе методы и средства искусственного интеллекта еще достаточно редко используются на предприятиях, но очень перспективны для решения задач контроля и управления при развитии автоматизации производства.

Термины контроля работы производственных объектов

Виртуальные анализаторы — оценка значения искомой качественной величины по проведенным измерениям других величин, которые либо имеют известную точную связь с искомой величиной, либо статистически взаимосвязаны с ней. В последнем случае для текущей оценки искомой величины обычно используются либо регрессионные уравнения, либо простейшие трехслойные нейронные сети.

Поточные анализаторы — автоматические анализаторы качественных и физико-химических показателей материальных производственных потоков, которые непосредственно выполняют измерения в потоке (в него вставляется сенсор) либо в автоматически отбираемых из потока проб.

Перспективные датчики — датчики, обладающие большинством перечисленных ниже свойств:

— сенсор датчика располагается вне измеряемой среды, он не имеет движущихся компонентов и не содержит специальных требований к характеру измеряемого потока в районе измерения;

— датчик состоит из нескольких сенсоров, измеряющих одну и ту же или разные величины, и электронного преобразователя, вычисляющего по значениям измеряемых величин значение искомого показателя;

— датчик автоматически реализует ряд функций по анализу и корректировке своей работы: периодически проводит самоконтроль и самодиагностику и сообщает о своих обнаруженных неисправностях и неточностях измерений;

Важно.

1. Обозначение перспективных датчиков термином «интеллектуальные приборы» является чисто рекламным, не соответствующим действительности.

2. Большинство поточных анализаторов достаточно затратны по стоимости и обслуживанию при эксплуатации, поэтому при разработке систем анализа качественных показателей конкурентными являются, кроме них, виртуальные и лабораторные анализаторы.

Термины анализа работы производственных объектов

Большие данные [6, 7] (big data) — наборы данных, размер которых превосходит возможности типичных баз данных по занесению, хранению, управлению и анализу информации. Это данные структурированного и неструктурированного вида, получаемые из различных источников. Основные характеристики больших данных: объем (*volume*), высокоскоростная обработка (*velocity*), многообразие (*variety*).

Виртуальная реальность [8] (virtual reality) — созданный компьютером мир (объекты и субъекты), передаваемый человеку через его ощущения: зрение, слух, осязание и др. Виртуальная реальность имитирует как воздействия, так и реакции на воздействия. Синтез свойств и реакций виртуальной реальности производится в реальном времени.

Дополненная реальность [9] (augmented reality) — результат введения в поле восприятия любых получаемых контрольных данных добавочных сведений об окружении получаемой текущей информации с целью ее дополнения. Отличие виртуальной реальности от дополненной в том, что виртуальная реальность формирует искусственный мир, а дополненная реальность вносит отдельные новые элементы в восприятие реального мира.

Предсказательная аналитика (<http://www.tadviser.ru>) (*прогнозная аналитика, предикативная аналитика* — predictive analytics) — прогнозирование будущего поведения контролируемого объекта и изменения показателей его работы различными методами, а также оценки вероятности выхода режима работы объекта за технологически допустимые пределы. Методы анализируют текущие и прошлые данные или факты и на этой основе составляют прогноз будущего поведения объекта.

Важно.

1. Все отмеченные в этом разделе автоматические методы анализа работы производственных объектов стали широко внедряться на предприятиях сравнительно недавно; поскольку в основном они базируются

на появившихся в начале 2000-х гг. мощных технических средствах автоматизации.

2. Отмеченные методы существенно расширяют область автоматизации текущего контроля, анализа и прогноза работы производства и должны обязательно учитываться при планировании развития автоматизации производства.

3. Массив больших данных эффективно используется в качестве информационной платформы, с помощью которой обучаются интеллектуальные средства автоматизации.

Термины управления производственными объектами

Автоматическая инспекция работы системы регулирования — программа контроля и анализа работы системы регулирования, реализующая следующие функции:

— фиксация моментов времени включения и отключения системы регулирования;

— выделение интервалов времени неустойчивой работы системы регулирования;

— посменный расчет среднеквадратичной погрешности стабилизации значения регулируемой величины;

— посменный учет времени нахождения регулирующего органа системы регулирования в каждом из крайних положений.

Автоматическая настройка системы регулирования — автоматическая адаптация параметров ПИД регулятора под изменяющиеся свойства объекта регулирования. Она реализуется специальным алгоритмом и имеет два способа применения:

— алгоритм адаптации непрерывно следит за текущей погрешностью стабилизации регулируемой величины и производит адаптацию параметров регулятора в моменты превышения погрешности регулирования заданного значения;

— адаптация параметров системы регулирования проводится по команде оператора, и он контролирует ее проведение.

Супервизорная система управления (<https://www.ngpedia.ru/id540221p1.html>) — двухуровневая система, на нижнем уровне которой работают локальные системы регулирования, а на верхнем уровне компьютер, обрабатывая измерительную информацию, рассчитывает и устанавливает задания локальным системам регулирования.

Предикт-контроллер [10] (Model-based predictive control) — система управления на основе прогнозирующей модели объекта. Идея такого управления — введение заранее построенной математической модели объекта в контур автоматического управления. Под названием «усовершенствованное управление» (APC — Advanced Process Control) обычно имеют в виду именно предикт-контроллер, то есть управление на основе прогнозирующей модели объекта. Предикт-контроллер эффективен для управления сложными технологическими объектами: нелинейными объектами, объектами со значительным транспорт-

ным запаздыванием, объектами с взаимосвязанными регулируемымися переменными, объектами с множеством одновременно соблюдаемых ограничений. Предикт-контроллер решает разнообразные задачи от стабилизации работы объекта до его оптимизации по заданному критерию (максимуму производительности, минимуму себестоимости, минимуму удельного энергопотребления и пр.). При работе предикт-контроллера уставки регулирования могут быть приближены к границам технологически допустимого режима, что экономически высоко эффективно.

Многосвязное регулирование — регулирование многосвязного объекта, у которого каждая его управляемая величина существенно зависит от разных управляющих воздействий. Регулирование осуществляется многосвязной системой, в которой объект описывается многими передаточными функциями, учитывающими связи между всеми управляемыми величинами, управляющими воздействиями и возмущениями. При этом системе стараются придать свойство автономности. Автономным называют такое регулирование, при котором изменение какой-либо одной регулируемой величины не приводит к изменению других. Свойство автономности системы достигается введением специальных, корректирующих обратных связей.

Важно.

1. Грамотное обоснование и использование в конкретных АСУ приведенных выше компонентов автоматизации имеет первостепенную важность. Но на практике автоматическая инспекция работы систем регулирования проводится достаточно редко, не стала обязательной существенно повышающая эффективность управления автоматическая настройка систем регулирования. Не всегда проводится тщательный анализ автоматизируемого объекта на наличие у него связности управляющих воздействий и необходимости путем многосвязного регулирования разорвать эти связи. Недостаточно применение эффективного предикт-контроллера.

2. Эксплуатация таких достаточно сложных систем управления как предикт-контроллер и многосвязное регулирование требует более высокой квалификации операторов, чем при эксплуатации ПИД регуляторов, что далеко не всегда понимается руководством предприятия. Недостаточно грамотная их эксплуатация приводит к ускоренной деградации построенной системы управления.

Термины автоматизации общих функций работы предприятия

Термины автоматизированного управления документооборотом предприятия

ЕСМ [11] (*Enterprise content management*) — управление информационными ресурсами на базе единого информационного пространства предприятия. Под этим понимается автоматизация обслуживания различных видов документов: их контроль функционирования, передача по заданным адресам, защита

от посторонних вмешательств, архивирование по отраслевым нормам, создание тематических журналов сообщений и инструкций, поддержка совместной работы пользователей с документами.

СЭД [12] — система электронного документооборота. Она обеспечивает процесс создания и распространения, в основном, текстовых электронных документов, содержащих в слабоформализованной форме информацию, инструкции, распоряжения для сотрудников предприятия. СЭД решает комплекс задач, который включает и вопросы управления документами, что может выполняться по концепции, принятой ЕСМ

Термины автоматизированного управления персоналом предприятия

HR (Human Resources) — персонал предприятия; *HR специалисты* — специалисты по управлению персоналом.

Digital HR [12] (*Digital Human Resources*) — цифровая трансформация работы с персоналом предприятия, включающая автоматизированные подходы в сфере набора, обучения, мотивации, оценки работы, карьерного роста персонала.

HR-аналитика — наименование автоматизированных способов проведения работ по кадровому делопроизводству, подбору персонала, адаптации персонала, обучению персонала, оценке работы персонала, мотивации персонала, повышению квалификации персонала;

HR-брендинг — имидж предприятия по взаимодействию с персоналом.

Термины информационных связей между отделами, службами и агрегатами предприятия и между ним и взаимодействующими с ним организациями

Информатизация предприятия — создание на базе различных коммуникационных сред (проводных и беспроводных), средств вычислительной техники и специальных программ единой информационной структуры предприятия, обеспечивающей оперативный взаимный обмен текущей информацией между всеми переделами предприятия. В настоящее время такой коммуникационной средой передачи данных является глобальная сеть Internet. Широкое распространение сети Internet по всему миру во многом обусловлено развитием беспроводных сотовых сетей для хранения, обработки и передачи информации. Общая зона покрытия сотовой сети делится на соты, определяемые зонами покрытия отдельных базовых станций, работающих в одном и том же частотном диапазоне и позволяющих определять текущее местоположение подвижных абонентов и обеспечивать непрерывность связи при перемещении абонента из зоны действия одной базовой станции в зону действия другой. Специальные компьютеры (сетевые провайдеры) пересылают пакеты данных между различными сотами по указанным в пакетах адресам. Доступ к сети Internet осуществляется с помощью как проводных, так и беспроводных стандартов передачи данных.

Важно.

Сейчас беспроводной доступ в Internet проводится по стандарту 4G, но уже начинает внедряться стандарт 5G, по которому резко расширяются возможности и улучшаются характеристики сети:

— скорость передачи данных увеличивается примерно в 20 раз;

— объем передаваемой в единицу времени информации увеличивается примерно в 3 раза;

— производится нарезка сетевых ресурсов: каждая часть сети может иметь свою технологию передачи данных. Например, технология минимальной задержки сообщений при их передаче, или технология передачи сообщений большому числу адресатов при низком энергопотреблении, или технология усиленной кибербезопасности заданной части сети.

Промышленный Internet — сеть Internet, реализующая информационную интеграцию производственных объектов, участков, цехов, служб, бизнес отделов, а также информационно связывающая предприятие с группой взаимодействующих с ним организаций; в частности, с поставщиками сырьевых компонентов и с потребителями выпускаемой им продукции. Обмен информации может проводиться между различными средствами и системами автоматизации разнообразным сетевым оборудованием. В целом, промышленный Internet образует единую информационную структуру предприятия и всех взаимосвязанных с ним по производству организаций.

ИТ-инфраструктура (информационно-технологическая инфраструктура) — структура, информационно объединяющая через средства автоматизации все ресурсы контроля и управления, используемые предприятием. Задача ИТ-инфраструктуры — создать необходимые связи между всеми подразделениями предприятия и обеспечить стабильный доступ к соответствующим отделам предприятия заданных групп пользователей. Качество ИТ-инфраструктуры оценивается по ее доступности, безопасности и надежности работы.

Промышленный Internet вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) — информационное взаимодействие различных компьютеров и других вычислительных средств предприятия через сеть *Internet* без непосредственного участия человека. IIoT реализует заданную совместную обработку данных и вычисления заданных функций (<http://www.tadviser.ru>).

Центр хранения и обработки данных (ЦОД/ЦХОД) или дата-центр (data center) — это поставщик заданных ему различными клиентами (предприятиями, организациями) информационных услуг через Internet. Он обладает мощными вычислительными ресурсами и средствами хранения данных большого объема, которые он использует для обработки, хранения, распространения информации и решения различных задач клиентов. Основными критериями работы дата-центра является время его доступности для клиента и время выполнения им заданной клиентом работы.

Дата-центры подразделяются по классу, обслуживаемых ими клиентов:

— *частные дата-центры* предназначены для обслуживания одной или группы взаимосвязанных организаций;

— *публичные дата-центры* предназначены для свободного обслуживания любых организаций;

— *общественные дата-центры* предназначены для обслуживания конкретных организаций, решающих общие задачи.

Важно.

1. Использование вычислительных ресурсов и средств хранения данных дата-центра позволяет клиентам сократить совокупную стоимость всех своих ресурсов по сравнению с общей стоимостью ресурсов, если бы каждый клиент владел собственным комплексом ресурсов, требуемых ему для решения своих задач. При этом у дата-центра возникают возможности эффективного использования своих вычислительных ресурсов перераспределением нагрузок в зависимости от изменения клиентских запросов.

2. Каждый клиент может гибко реагировать на изменения во времени своих вычислительных потребностей: требуемые ему услуги дата-центра могут быть расширены или сужены в любой момент времени, без дополнительных издержек на взаимодействие с дата-центром и, как правило, в автоматическом режиме.

Облачные вычисления (cloud computing) (<https://habr.com/ru/post/111274>) — обеспечение по требованию предприятия сетевого доступа к конкретному дата-центру, предоставление дата-центру исходных данных и заказ на решение заданных задач обработки, хранения, вычисления, распространения информации. Потребители облачных вычислений могут значительно уменьшить расходы на собственные средства автоматизации и гибко реагировать на свои изменения вычислительных потребностей, используя свойства вычислительной эластичности облачных услуг. Они позволяют получить услуги с высоким уровнем доступности и низкими рисками неработоспособности, обеспечить быстрое изменение вычислительных программ обработки выданных дата-центру исходных данных без необходимости создания, обслуживания и модернизации собственной аппаратной инфраструктуры.

Основные виды облачных услуг, предоставляемых дата-центром предприятиям:

— программное обеспечение как услуга (*Software-as-a-Service, SaaS*) — клиенту предоставляется возможность использования прикладного программного обеспечения дата-центра;

— платформа как услуга (*Platform-as-a-Service, PaaS*) — клиенту предоставляется возможность использования дата-центра для размещения в нем своего базового программного обеспечения и последующего размещения в нем новых или существующих приложений;

— инфраструктура как услуга (*Infrastructure-as-a-Service, IaaS*) — клиенту предоставляется возмож-

ность самостоятельного управления в дата-центре работой со своими исходными данными: их обработкой, хранением, вычислениями.

Важно.

1. Наличие дата-центров и реализуемых ими облачных вычислений значительно облегчает применение современных компонентов автоматизации, требующих мощных вычислительных средств, и удешевляет конкретное использование этих компонентов предприятием.

2. Особенно перспективно применение облачных вычислений для средних и малых предприятий, поскольку оно позволяет им существенно сократить, а иногда и полностью убрать собственные средства обработки исходных данных.

Туманные вычисления (Fog Computing) [13] — аналог облачных вычислений, но в роли дата-центров выступают вычислительные средства самого предприятия, расположенные в его подразделениях. В качестве дата-центров предприятия могут использоваться свободные мощности имеющихся компьютеров. Отличительной чертой туманных вычислений является близость локальных дата-центров к конечным пользователям и обработка данных недалеко от источника их получения, без необходимости их передачи в достаточно удаленные, крупные дата-центры только для того, чтобы их там обработать и передать назад результаты. «Туман» в отличие от «облака», находится ближе к пользователям. Туманные вычисления позволяют получить преимущества от своевременного анализа потоков данных внутри предприятия.

Граничные (периферийные) вычисления (Edge Computing) — это технология обработки и хранения данных на конечном (периферийном) устройстве в непосредственной близости от места получения исходных данных для их первичной обработки перед передачей вышестоящему вычислительному узлу. Устройства, на которых реализуются периферийные вычисления, расположены еще ближе к пользователю, чем «туман». Это могут быть, например, приборы КИПиА.

Важно.

В тех случаях, когда пользователям требуется *гарантированное* и достаточно малое время обработки посланных исходных данных и выдачи им результата, туманные и граничные вычисления предпочтительнее облачных, поскольку последние не могут гарантировать точное время выдачи результата своей работы пользователю.

Кибербезопасность [14] — необходимая защита данных в процессах их получения, передачи, хранения, обработки и выдачи, обеспечиваемая конфиденциальностью, целостностью и доступностью для персонала предприятия данных от всех средств и систем автоматизации, включая данные сетей компьютеров и серверов. В целях обеспечения безопасности данных применяются различные меры типа контроля доступа к системам автоматизации и авторизации персонала при доступе к данным,

Внешние угрозы по проникновению в системы автоматизации производства становятся все более частыми и изощренными, а сами системы становятся все более доступными, поскольку все они обмениваются информацией через сети, и их растущая взаимосвязь приводит к увеличению возможностей несанкционированного вмешательства в работу предприятий. Поэтому защита от внешнего вмешательства приобретает все большее значение.

Важно.

В настоящее время средства и системы автоматизации на подавляющем большинстве предприятий недостаточно защищены (часто совсем не защищены) от несанкционированного вмешательства в их работу. Необходимо внедрять средства их защиты от несанкционированного доступа согласно изложенной в ГОСТ Р МЭК 62443-3-3-2016 классификации по категориям уровней требуемой информационной безопасности.

Термины цифровизации предприятий

Цифровизация — замена аналоговых систем сбора и обработки данных средствами и системами, которые переводят собранные исходные данные в цифровой сигнал и далее генерируют, передают, хранят, обрабатывают, выдают результирующие данные в цифровом виде. Это технологический уровень оснащения предприятия, позволяющий использовать цифровые данные и цифровую инфраструктуру.

Цифровая трансформация (digital transformation, DT) [15] — процесс перевода в цифровую форму всех операций предприятия по контролю, учету, планированию и управлению. Организация цифровых взаимосвязей на базе единой информационной среды как внутри предприятия, так и вне его при общении предприятия с поставщиками, потребителями, взаимодействующими с ним организациями. Цифровая трансформация делает производство более гибким, а предприятие конкурентоспособным в нарождающемся «цифровом мире», что позволяет руководству предприятия принимать оперативные, информационно взвешенные, рациональные решения в областях управления производством и взаимоотношениями с поставщиками сырья и потребителями продукции. В частности, она определяет трансформацию бизнеса, когда предпочтения и поведение покупателей продукции определяют решения в области планирования производства

Цифровой двойник [16] — модель производственного объекта в цифровой форме, содержащая необходимые данные об объекте и реализуемом в нем процессе, поддерживаемая в актуальном состоянии в реальном времени. Цифровой двойник позволяет в любой момент времени выдать состояние объекта, рассчитанное по модели, и даже сделать прогноз на будущее при разных вариантах управления. По разнице оригинала и двойника можно сделать вывод об изменениях в объекте. На сегодняшний день выделяют цифровой двой-

История цифровизации может быть описана в терминах истории промышленных предприятий.

Ремейк по фразе Луис Вирт

ник процесса (например, тренажерная модель) и актива (например, информационная модель строящегося объекта).

Цифровое предприятие — предприятие, обладающее единой информационно-технологической инфраструктурой, объединяющей все средства автоматизации, и реализующее операции в цифровой форме. Ключевым фактором цифрового предприятия являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов данных и использование результатов анализа этих данных, что позволяет существенно повысить эффективность производства.

Важно.

1. Термин «цифровизация» сейчас настолько моден, что его пытаются вставить в любое сообщение о развитии автоматизации предприятий, большей частью, не имеющей никакого отношения к этому термину.

2. Существенные изменения взаимоотношений предприятий с клиентами после их «цифровизации» касаются в основном предприятий машиностроительных отраслей и почти не имеют отношения к предприятиям технологических отраслей.

Заключение

Уровень концепции Industry 4.0, которая повсеместно обозначается как «Четвертая промышленная революция» практически недостижим путем революционных изменений работы предприятия, а может быть достигнут лишь путем достаточно медленного, эволюционного развития средств и систем автоматизации всех переделов предприятия. Это развитие заключается во внедрении во все сферы функционирования предприятия цифровой, информационной технологии, перестраивающей и совершенствующей методы управления. При этом важнейшими составляющими развития в направлении концепции Industry 4.0 являются IIoT, облачный и туманный сервисы, предикторная аналитика, искусственный интеллект, машинное обучение, глубокий анализ данных, виртуальная и дополненная реальность, большие данные, то есть все компоненты автоматизации, которые получили широкое распространение с началом XXI века.

Важное место АСУТП в достижении уровня Industry 4.0 обусловлено тем, что только они являются источниками почти всех текущих данных о работе производства для всех подразделений предприятия и только через них службы и отделы предприятия могут целенаправленно воздействовать и изменять ход работы производства. Для соответствия требованиям концепции Industry 4.0 необходима значительная модернизация и расширение функций систем автоматизации производственных объектов и, главное, — систем автоматизации технологических агрегатов.

Список литературы

1. *Портер М.Э.* Конкуренция. Пер. с англ.: уч. пос. М.: Вильямс, 2005. 608 с.
2. Библиотека управления. Бенчмаркинг: основные понятия и процесс реализации. 2012. <https://www.cfin.ru>
3. Что такое искусственный интеллект ИИ: определение понятия простыми словами. 2019. <https://theoryandpractice.ru>
4. *Хохлова Д.* Бум нейросетей: кто делает нейронные сети, зачем они нужны и сколько денег могут приносить. 2016. <https://vc.ru>
5. *Орлов С.* Искусственный интеллект, машинное обучение и глубокое обучение; в чем различия. 2018. <https://www.computerra.ru>
6. *Волкова Ю.С.* Большие данные в современном мире // Концепт. 2017. №11. стр. 83..
7. *Anil Bosine.* Использование больших данных для управления производством // Control Engineering. 2018. №6.
8. *Захаркин Д.В.* Применение виртуальной реальности при подготовке кадров для промышленности // Автоматизация в промышленности. 2018. №11.
9. *Симонов И.В.* Приложение удаленного ассистента для промышленных предприятий // Автоматизация в промышленности. 2018. №11.
10. *Дозорцев В.М., Ицкович Э.Л., Кнеллер Д.В.* усовершенствованное управление технологическими процессами (АРС): 10 лет в России // Автоматизация в промышленности. 2013. №1. стр.13-20.
11. *Колесова А.* Понятия СЭД и ЕСМ. <https://www.itweek.ru>.
12. *Освицкая Н.А.* HR#digital#бренд#аналитика#маркетинг. Изд-во «Питер». 2019. 400 стр.
13. *Mohammad Aazam.* Deploying fog computing in industry internet of things and Industry 4.0 // IEEE Transaction on industrial informatics. 2018. V.14. №10.
14. Базовые понятия и термины кибербезопасности. <https://www.kaspersky.ru>
15. Что такое цифровая трансформация. <https://www.rbc.ru>
16. Два в одном: для чего заводу нужен цифровой близнец. <http://digital-russia.rbc.ru>

Ицкович Эммануил Львович — д-р техн. наук, главный научный сотрудник

ИПУ им. В.А.Трапезникова РАН.

Контактный телефон (495) 334-90-21.

E-mail: itskov@ipu.ru

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

по электронному каталогу "Почта России" ФГУП Почта России - подписной индекс **П7753**

• сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакция

Адрес редакции: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (495) 334-91-30, (926)212-60-97. E-mail: info@avtprom.ru