KBox

– ваш связной между небом и землей

Встраиваемые платформы для «Интернета вещей» (IoT)

- Великолепная производительность от Intel Quark, Bay Trail до Core i3/5/7 4-го поколения.
- Широкий пул Mini PCI Express расширений для беспроводных коммуникаций класса GPRS, 3G/4G, WiFi.
- Поддержка Fieldbus, RS232/422/485, CAN.
- Удобный монтаж: настольный, в шкаф, на стену, на DIN-рейку.
- Максимальная надежность и соответствие жестким эксплуатационным требованиям: исполнение от 0°C до +50°C и от -40°C до +85°C.
- MTBF от 150 000 часов.
- Расширенная поддержка ОС: Windows/Windows Embedded, Linux, LynxOS, VxWorks, QNX и др.
- Длительный жизненный цикл от 7 лет.
- Конкурентоспособные цены.
- Профессиональная поддержка «РТСофт» на всем жизненном цикле вашей системы!
- **Закажите тест-драйв!**

105037, Москва, Никитинская 3, ЗАО «РТСофт». Тел.: (495) 967-1505. Факс: (495) 742-6829. e-mail: rtsoft@rtsoft.ru www.rtsoft.ru

OpenSystems Publishing

МКА : ВКС

МИР КОМПЬЮТЕРНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ • ВСТРАИВАЕМЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
COMPUTER AUTOMATION WORLD • EMBEDDED COMPUTER SYSTEMS

В НОМЕРЕ

CONTENTS

ОБЩИЙ ВЗГЛАД

Так что же такое Industry 4.0?
Марио Германн (Mario Hermann), Technische Universität Dortmund,
Тобиас Пентек (Tobias Pentek), Business Engineering Institute St. Gallen,
Борис Отто (Boris Otto) Technische Universität Dortmund

4

«Интегрированное производство» – новая высота Hannover Messe
По материалам Deutsche Messe

11

ВСТРАИВАЕМЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Высоконадёжные промышленные ПК формата Box PC: борьба за отечественного пользователя
Александр Ковалёв, Олег Холодный, ЗАО «РТСофт»

14

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Приложения SDN в промышленной автоматизации
Абхилаш Гопалакришнан (Abhilash Gopalakrishnan),
Power Technologies ABB Global Industries & Services Ltd.

20

ИУС ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Актуальность обеспечения защиты АСУ ТП от информационных угроз
Андрей Петрович Духвалов, «Лаборатория Касперского»

25

Информационно-управляющая система экспериментальной термоядерной установки «Токамак Т-15»
Ю. Я. Моцкин, ЗАО «РТСофт»,
М. М. Соколов, П.П. Хвостенко, НИЦ «Курчатовский институт»

29

Инструментальная платформа для создания эффективного производства. Программный комплекс «Эталон» – решение для повышения энергоэффективности и стабильности производственных процессов
С. Н. Пастухов, А. В. Малов, Е. Э. Страшнин, А. С. Стаймов,
А. А. Прилуков, Уральский филиал «УралРТСофт» ЗАО «РТСофт»

38

BIRD'S EYE VIEW

Design Principles for Industry 4.0 Scenarios: A Literature Review,
by Mario Hermann, Technische Universität Dortmund,
Tobias Pentek, Business Engineering Institute St. Gallen and
Boris Otto, Technische Universität Dortmund

Integrated industry takes HANNOVER MESSE to new heights,
by Deutsche Messe materials

EMBEDDED COMPUTER TECHNOLOGIES

High-reliability Industrial Box PC: Struggle for Domestic Users,
by Alexander N. Kovalev and Oleg V. Kholodnyi, RTSoft

SOFTWARE

Applications of Software Defined Networks in Industrial Automation. An architectural analysis,
by Abhilash Gopalakrishnan,
ABB Global Industries & Services Ltd, Bangalore

INDUSTRIAL ENTERPRISE AND INFRASTRUCTURE IMSs

Information Security of Industrial Control Systems has Become Topical,
by Andrey Dukhvalov, KASPERSKY lab.

Information-Management System of TOKAMAK T-15 Nuclear Fusion Reactor,
by Yury Ya. Motskin, RTSoft, Mikhail M. Sokolov and
Petr P. Khvostenko, NRC «KURCHATOV INSTITUTE»

Instrumentation Platform for Effective Manufacturing Development. «Etalon» Software Complex – Solution for Production Process Power Efficiency and Stability Increasing,
by Sergey N. Pastukhov, Andrey V. Malov, Evgeniy E. Strashnin,
Alexanr S. Staymov and Anton A. Prolukov, UralRTSoft

ИУС ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

POWER INDUSTRY IMSS

Цифровые подстанции 6–35 кВ. Выбор технических решений с учётом стоимости и удобства эксплуатации
Ю. В. Машинский, Л. Л. Орлов, ЗАО «РТСофт»

42

6–35 kV Digital Substations. Choose of Engineering Solution in terms of Cost and Ease of Use,
by Yury V. Mashinskiy and Leonid L. Orlov, RTSoft

Пилотный проект внедрения программного комплекса PhasorPoint в ОАО «СО ЕЭС»
А. А. Небера, Н. Г. Шубин, П. Н. Казаков, ЗАО «РТСофт»
Д. Н. Уткин, ОАО «СО ЕЭС»

46

Pilot Project Implementation of «PhasorPoint» Software Package at «System Operator of the United Power System» joint-stock Company,
by Alexey. A. Nebera, Nikolay G. Shubin, RTSoft and Dmitriy N. Utkin, SO UPS

Современные цифровые системы ВЧ-связи по ЛЭП 35 кВ и выше: состояние и перспективы развития
В. А. Харламов, ООО «Юнител Инжиниринг»

51

Up-to-date 35+ kV digital PLCs: State and Development Prospects,
by Vasiliy A. Kharlamov, Unitel Engineering

Технологии SAP для построения IT-OT-интеграционной платформы и управления Big Data в Энергетике
Оксана Соловьева, Андрей Соболев, САП СНГ

59

Using SAP Technologies for Building IT-OT Integration Platform and Managing Big Data in Energy Companies,
by Oxana Solovieva and Andrey Sobolev, SAP CIS

НОВОСТИ РЫНКА

28

EMBEDDED MARKET NEWS

Редакционный совет:

Синенко О. В. – председатель редакционного совета, директор НП «Вера+», д.т.н.

Егоров А. А. – начальник научно-учебного Центра МАИ «Интеллектуальные системы измерений, контроля и управления в промышленности», профессор АВН РФ, к.т.н.

Золотарёв С. В. – ведущий эксперт компании «Фиорд», к.т.н.

Итенберг И. И. – генеральный директор и главный конструктор ОАО «НКБ ВС», к.т.н.

Куцевич Н. А. – технический директор ЗАО «РТСофт», д.т.н.

Рыбаков А. Н. – технический директор ЗАО «РТСофт»

Сюзев В. В. – зав. кафедрой, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., лауреат премии правительства в области образования

Шагурин И. И. – заместитель заведующего кафедрой, профессор МИФИ, д.т.н.

Редакция:

Зеленова Т. И. – *главный редактор*
Якшин Ю. Н. – *эксперт по направлению ВКТ*
Жданов А. А. – *эксперт по направлению ПО*
Ханыгин А. Н. – *эксперт по направлению АИУС ПП*
Небера А. А. – *эксперт по направлению АИУС Э.*
Иваничек А. С. – *отв. за рекламу и распространение*
Белов И. В – *ответственный за вёрстку*

Учредитель:

ЗАО «СПА»
Адрес: 105077, Москва, а/я 158
Телефон: 8-499-271-32-32
Факс: 8-495-748-68-29
E-mail: mka@veraplus.msk.ru,
URL: www.mka.ru

Оформить подписку можно:

1. **На почте** по каталогам агентства «Роспечать» – «Газеты. Журналы. Книги. Учебные пособия» и Russian Newspapers & Magazines, индекс 72710.
2. **На почте** по Объединенному каталогу «Пресса России», индекс 45075.
3. **Через редакцию** по тел. 8-499-271-32-32.

Тираж 1000 экз., цена свободная.

Журнал для тех, кто принимает решения при создании открытых встраиваемых систем.
«Мир компьютерной автоматизации: встраиваемые компьютерные системы»
Computer Automation World: Embedded Computer Systems
№ 3 (3/30/48/107) 2015

Издаётся с 2007 (1995) года. Выходит 3 раза в год.
Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство ПИ №ФС77-43074 от 15.12.2010

Марио Германн (Mario Hermann), Technische Universität Dortmund,
Тобиас Пентек (Tobias Pentek), Business Engineering Institute St. Gallen,
Борис Отто (Boris Otto) Technische Universität Dortmund

Так что же такое Industry 4.0?

Несмотря на то, что в настоящее время во многих компаниях, исследовательских центрах и университетах концепция Industry 4.0 в фокусе внимания, общего определения этого понятия не существует. В результате обсуждение данной темы на академическом уровне затруднено, затруднена и практическая реализация соответствующих проектов. В статье на основе анализа публикаций даётся определение Industry 4.0 и выявляется шесть принципов проектирования систем в рамках этой концепции. Это интероперабельность, виртуализация, децентрализация, возможность работы в режиме реального времени, ориентация на предоставление услуг и модульность. Руководствуясь этими принципами, теоретики смогут и дальше исследовать эту тему, а практики – создавать соответствующие их задачам решения.

1. Введение

В германо-говорящей среде практиков и учёных Industry 4.0 – самая популярная тема [10, 13]. С тех пор как германское правительство в 2011 году провозгласило Industry 4.0 в качестве ключевой составляющей стратегии развития Германии в области высоких технологий [25], на эту тему появилось множество научных публикаций и статей от практиков. Проводятся конференции и семинары [4].

Тема Industry 4.0 привлекательна по двум причинам. Во-первых, впервые о промышленной революции говорится до её наступления, а не после [12]. Для компаний и исследовательских институтов это открывает возможности для активного формирования будущего. Во-вторых, предполагается, что влияние этой промышленной революции на развитие экономики будет огромным, поскольку Industry 4.0 обещает значительное повышение эффективности производства, а также возникновение абсолютно новых бизнес-моделей, услуг и продуктов [25, 26, 27]. Последние исследования показывают, что к 2025 году это позволит увеличить ВВП Германии на 78 млрд евро [2].

Несмотря на то, что Industry 4.0 стала главной темой многих исследовательских центров, университетов и компаний в течение последних трёх лет, многочисленные работы в этой области скорее не конкретизировали, а больше затуманили понятие Industry 4.0 [4]. Даже главные инициаторы и вдохновители этой идеи – рабочая группа «Industrie 4.0 Working Group» и разработчики «Plattform Industrie 4.0, 2014» – описывают только её видение, базовые технологии, на которые она нацелена, и некоторые сценарии реализации [25, 32, 33], однако чёткого определения не дают. В результате, общепринятого определения Industry 4.0 в публикациях до сих пор нет [2].

Отсутствие чёткого определения мешает не только научным разработкам [23], но и компаниям, которые столкнулись с трудностями в попытках развить эти идеи или что-то создать на их основе, поскольку нет уверенности в понимании, что это такое и для чего это надо. «Несмотря на то, что Industry 4.0 – одна из самых обсуждаемых сегодня тем, я не смог объяснить своему сыну, что под этим в реальности понимается», – сетует менеджер продуктового сайта автомобильного предприятия «Ауди». Это высказывание подчёркивает общий печальный вывод из последнего изучения темы: «у большинства компаний Германии нет ясного понимания, что такое Industry 4.0 и как это будет выглядеть» [14].

Поскольку термин Industry 4.0 непонятен, нет и «систематизации знаний», которая бы позволила компаниям реализовать сценарии Industry 4.0 на практике [20]. Другими словами, для практиков нужны принципы проектирования, которые помогли бы им при создании соответствующих решений. Нужны они и учёным в качестве основы теории проектирования систем Industry 4.0 [19]. Однако при исследовании публикаций на тему Industry 4.0 авторы данной статьи не нашли каких-либо внятных формулировок подобных принципов.

Данная статья призвана ликвидировать этот пробел. На основе научного анализа публикаций авторы

дают определение понятия Industry 4.0 и выявляют шесть принципов проектирования, которые специалисты компаний могут принимать во внимание при реализации своих решений Industry 4.0.

2. История

Термин Industry 4.0 (Industrie 4.0 – нем.) подразумевает очередную промышленную революцию, которая разворачивается практически уже сейчас. В истории человечества у неё было три предшественницы. Первая промышленная революция, связанная с появлением оборудования для механического производства, началась во 2-ой половине 18-го столетия и интенсивно развивалась в течение всего 19-го века (эпоха «угля и пара»). Начиная с 1870-х годов, благодаря электрификации и разделению труда (тейлоризм), назрел переход ко второй промышленной революции (эпоха «нефти, газа, электричества»). Начало третьей промышленной революции, называемой также «цифровой революцией», приходится на 1970-е годы. В то время развитие электроники и информационных технологий привело к дальнейшей автоматизации производственных процессов.

Термин Industry 4.0 был введён в публичный оборот в 2011 году, когда сообщество представителей бизнеса, политических и академических кругов Германии выдвинуло под этим именем инициативу, направленную на повышение конкурентоспособности германской промышленности [24]. Федеральные власти Германии поддержали эту идею, объявив о том, что Industry 4.0 станет составной частью правительственной стратегии в области высоких технологий «High-Tech Strategy 2020 for Germany», цель которой – добиться к 2020 г. мирового лидерства в области технологических инноваций. Далее была сформирована рабочая группа по Industry 4.0 (Industrie 4.0 Working Group), которая выработала первые рекомендации по реализации этой концепции, опубликованные в апреле 2013 года [25]. В той публикации авторы (Kagermann и др.) описывают своё видение Industry 4.0 так:

«В будущем бизнес-компании организуют глобальные сети, куда машины и механизмы, системы складского хозяйства и производственное оборудование будут входить в форме так называемых киберфизических систем (Cyber-Physical Systems – CPS). В производственной среде к киберфизическим системам относятся интеллектуальные станки, системы хранения информации и цеховое оборудование, которые в автономном режиме могут обмениваться информацией, запускать те или иные действия и независимо контролировать друг друга. Благодаря этому, коренным образом совершенствуются процессы во всех производственные сферах – технической подготовки, изготовления продукции, использования материалов, логистики каналов поставок и управления жизненным циклом изделий. Появляющиеся уже сейчас «умные предприятия» (Smart Factory) используют совершенно новый подход к производству. «Умные продукты» обладают уникальной идентифицируемостью, их местонахождение может быть выявлено в любое время, они «знают» свою историю, текущий статус и альтернативные маршруты к своему целевому состоянию. Действующие в рамках предприятий и фабрик встроенные производственные системы вертикально по сети подключаются к бизнес-процессам, а горизонтально – к распределённым партнёрским сетям (value networks), которые могут управляться в режиме реального времени – с момента выставления заказа и далее по всей цепочке добавления стоимости. Кроме того, по всей цепочке наращения стоимости возможно и необходимо инженерное сопровождение этих систем».

На основе описанного видения, в рамках «Платформы Industry 4.0» (Plattform Industrie 4.0, 2014) были разработаны дальнейшие рекомендации по его реализации [24]. В «Платформе» концепция Industry 4.0 понимается как «новый уровень организации и менеджмента цепочки создания стоимости (value chain organization and management) на протяжении всего жизненного цикла выпускаемой продукции» [32, 33].

Так как термин Industry 4.0 за пределами немецкоязычной аудитории известен не очень хорошо [28], имеет смысл рассмотреть сравнимые идеи в глобальном аспекте. Подобная идея под именем «Промышленный Интернет» (Industrial Internet) продвигается компанией General Electric [6, 15]. Он определяется как «интеграция сложных физических механизмов и устройств с объединёнными в сеть датчиками и программным обеспечением в целях предсказания, управления и планирования на благо бизнеса и общества» [22]. В области Industrial Internet правительство США поддерживает проект «Передовое производство» (*Advanced Manufacturing*), выделив на усилия по его разработке и развитию два миллиарда долларов [34]. Подобные идеи можно найти и под другими именами – *«Интегрированное производство»* (*Integrated Industry*) [8] и *«Умное производство»* (*Smart Industry* или *Smart Manufacturing*) [10, 11, 43].

3. Процесс и метод исследования

В своей работе при исследовании публикаций авторы руководствовались рекомендациями [40]. Чтобы охватить релевантные публикации в области инженерного проектирования, производства и менеджмента, вышедшие как из академических, так и бизнес-кругов, авторы использовали пять баз данных по публикациям (CiteSeerX, ACM, AISeL, EBSCOhost, Emerald Insight) и Google Scholar (Академия Google). При анализе литературы ставилась цель выявить ключевые аспекты Industry 4.0 и на их основе дать определение этого

понятия, которое было бы принято как учёными, так и практиками [9]. Для осмысления понятия Industry 4.0 и выявления ключевых слов был проведён предварительный поиск в Google Scholar по двум вариантам написания – «Industrie 4.0» и «Industry 4.0», чтобы охватить как немецкоязычные, так и англоязычные публикации. Заголовки, аннотации и ключевые слова из первых 100 результатов для каждого варианта поиска (всего 200 публикаций) анализировались независимо друг от друга двумя исследователями, для повышения доверия к сделанным выводам [35]. Далее каждый из них сформулировал для каждой публикации ключевые слова. Затем оба исследователя обобщили результаты и обсудили случаи рассогласования своих поисков. В окончательный список попало 15 немецких и английских ключевых слов (ключевые слова 2-го уровня в табл. 1).

Затем поиск по отобранным ключевым словам плюс Industrie 4.0 или Industry 4.0 проводился по пяти вышеуказанным базам данных. Если поиск выявлял лишь несколько «хитов», то искали и в Google Scholar. Следуя рекомендациям [41], результаты дополнялись прямым и обратным поиском. Релевантными считались только те публикации, в которых термин Industry 4.0 явно фигурировал в заголовке, аннотации или ключевых словах. Эта процедура выявила 51 публикацию, которые во всей полноте независимо проанализированы двумя исследователями и затем снабжены ключевыми словами. И снова результаты обобщены, а разногласия после обсуждения устранены. Затем ключевые слова проранжированы по частоте упоминаний. В качестве базовых компонентов концепции Industry 4.0 выделено четыре наиболее часто упоминаемых ключевых слова, которые представлены в следующем разделе. Последний шаг процесса исследования публикаций – формирование пула статей для дальнейшего исследования, который приведён в разделе 7.

На основе четырёх выявленных базовых компонентов авторы дают определение Industry 4.0. Это определение следует аристотелевским правилам *genus proximum (ближайший род)* и *differentia specifica (характернаяя особенность)*. Если первое правило требует отнести определяемое понятие к некоему классу (в рамках субординированной систематики), то второе требует указать признаки, которые отличают данное понятие от других понятий в рамках данного класса [1, 43].

Табл.1. Ключевые слова

Ключевые слова 1-го уровня	Ключевые слова 2-го уровня
Industrie 4.0, Industry 4.0	Cyber-Physical Systems, Cyber-Physikalische Systeme, CPS, Internet of Things, Internet der Dinge, Internet of Services, Internet der Dienste, Smart Factory, intelligente Fabrik, Smart Product, intelligentes Produkt, BigData, Cloud, M2M, Machine-to-Machine

И в завершение своей работы авторы, на основе введённых определений компонентов Industry 4.0 и имеющихся примеров, вывели принципы проектирования систем Industry 4.0. Для подкрепления уверенности в правильности выбранного подхода два аналитика выводили эти принципы независимо друг от друга. Найденные принципы были объединены и распределены по шести группам. Каждая группа представлена родовым понятием. В соответствии с [19] эти принципы служат руководством для практиков и учёных «как делать» Industry 4.0.

4. Результаты обзора публикаций

По результатам анализа публикаций на тему Industry 4.0 выявлено четыре компонента понятия Industry 4.0: *киберфизические системы (Cyber-Physical Systems), «Интернет вещей» (Internet of Things)*, *«Интернет услуг» (Internet of Services)* и *«Умное предприятие» (Smart Factory)* (табл. 2). *«Межмашинные коммуникации» (Machine-to-machine – M2M)* и *«Умные продукты» (Smart Products)* авторы в качестве независимых компонентов Industry 4.0 не рассматривают, поскольку M2M – это «разрешающая технология» (enabler) для «Интернета вещей», а «Умные продукты» – это подкомпонент киберфизических систем (см. далее разделы 4.1.1 и 4.1.2). Аналогичным образом *«большие данные» (big data)* и *«облачные вычисления» (cloud computing)*, в согласии с [26], рассматриваются как информационные услуги, в которых используются данные, сгенерированные конкретными системами, организованными по идеологии Industry 4.0, а не как независимые компоненты Industry 4.0.

Четыре базовых компонента Industry 4.0 (их наиболее часто цитируемые определения, связь с Industry 4.0 и примеры применения) будут рассмотрены в следующих разделах. Затем на базе этих компонентов будет дано новое определение Industry 4.0.

4.1. Компоненты Industry 4.0

4.1.1. Киберфизические системы (Cyber–Physical Systems – CPS)

Важная составляющая концепции Industry 4.0 – сращивание физического и виртуального миров [26]. Благодаря этому стали возможны киберфизические системы (КФС, CPS). КФС – это «интеграция вычислительных и физических процессов. Встроенные компьютеры и сети отслеживают физические процессы и управляют ими, как правило, через обратные связи,

при которых физические и вычислительные процессы взаимно влияют друг на друга» [29]. Развитие КФС характеризуется тремя этапами. В первом поколении КФС используются технологии идентификации, такие как RFID-метки, позволяющие осуществлять уникальную идентификацию. КФС второго поколения оборудуются датчиками (sensors) и исполнительными механизмами (actuators) с ограниченным спектром функций. КФС третьего поколения могут хранить и анализировать данные, оборудуются большим количеством датчиков и исполнительных механизмов и могут подключаться к компьютерным сетям [3]. Примером КФС может служить интеллектуальный контейнер (технология iBin компании Würth). Он оборудован модулем с инфракрасной фотокамерой для управления запасом деталей группы С (винты, гайки, шайбы и т. п.), которая определяет количество деталей в контейнере iBin. Если их количество снижается ниже страхового запаса, iBin автоматически, используя технологию RFID, заказывает новые детали. Благодаря этому необходимый запас деталей регулируется в режиме реального времени [21].

4.1.2. «Интернет вещей»

По мнению Кагермана (Kagermann), четвёртая промышленная революция началась благодаря интеграции в процесс производства «Интернета вещей» (Internet of Things – IoT) и «Интернета услуг» (Inter of Setvices – IoS) [25]. «Интернет вещей» позволяет «вещам» и «объектам», таким как RFID, датчики, исполнительные механизмы, мобильные телефоны, используя уникальные схемы адресации, взаимодействовать друг с другом и «сотрудничать» с соседними «умными» компонентами, для достижения общей цели» [17]. Основываясь на данном выше определении КФС, «вещи» и «объекты» могут рассматриваться в качестве киберфизических систем. Таким образом, «Интернет вещей» можно определить как сеть, в которой киберфизические системы взаимодействуют друг с другом через уникальные схемы адресации. Примерами «Интернета вещей» и «Умных предприятий» (рассматриваются ниже) могут служить «Умные дома» (Smart Homes) и «Умные сети» (Smart Grids) [3, 4].

4.1.3. «Интернет услуг»

«Интернет услуг» (Internet of Services – IoS) позволяет «поставщикам услуг предлагать свои услуги через Интернет... IoS состоит из участников, инфраструктуры для оказания услуг, бизнес-моделей и собственно услуг. Услуги предлагаются и объединяются в пакеты дополнительных услуг (value-added services) различными поставщиками; поставщики общаются с пользователями и заказчиками, а те с поставщиками по различным коммуникационным каналам» [7]. В результате возможен новый способ динамического распределения индивидуальной активности по цепочке наращения стоимости (value chain activities) [31]. Есть вероятность того, что в будущем эта концепция, применяемая на единичных предприятиях, распространится на все сети с дополнительными услугами (value added networks). Предприятия могут сделать один шаг вперёд и предлагать не только разные виды продукции, но и специальные технологии производства. Эти технологии будут предлагаться через IoS и могут использоваться для производства продуктов или для сбалансированного использования производственного потенциала [36]. Идея «Интернета услуг» была реализована в проекте под названием SMART FACE в рамках программы «Наука и техника самоорганизующихся систем для Industry 4.0» (Autonomics for Industrie 4.0), инициированной федеральным министерством экономики и энергетики Германии. Проект подразумевает создание нового распределённого управления производством в автомобильной отрасли. В его основе лежит архитектура, ориентированная на предоставление услуг. Это позволяет использовать станции модульной сборки, которые могут гибко модифицироваться или расширяться. Перемещение между сборочными станциями обеспечивается автоматическими самоходными тележками (робокары). И сборочные станции, и робокары «предлагают» свои услуги через IoS. Кузовы автомобилей «знают» свои конкретные конфигурации, которые были заданы заказчиками, и в автономном режиме могут «решать», какие рабочие шаги нужно выполнить. Таким образом, каждый отдельный кузов может, через «Интернет услуг», скомпоновать необходимый ему технологический процесс и автономно «путешествовать» по производственным участкам [16].

4.1.4. «Умное предприятие» (Smart factory)

«Умное предприятие» – ключевое понятие концепции Industry 4.0 [25]. «Умное предприятие» определяется как предприятие, которое на основе контекстного знания (context-aware) помогает людям и механизмам выполнять свои задачи. Это достигается с помощью фоново-работающих систем, так называемых Calm-систем, а «контекстное знание» означает, что эта система учитывает в своей работе контекстную информацию, такую как положение и статус объекта. Эти системы

Табл. 2. Компоненты Industry 4.0 (по результатм анализа 51-й публикации)

Термин	Количество публикаций, в которых встречается данный термин
Cyber-Physical Systems, Cyber-Physikalische Systeme, CPS	**46**
Internet of Things, Internet der Dinge	**36**
Smart Factory, intelligente Fabrik	**24**
Internet of Services, Internet der Dienste	**19**
Smart Product, intelligentes Produkt	10
M2M, Machine-to-Machine	8
Big Data	7
Cloud	5

выполняют свои задачи на основе информации, поступающей из физического или виртуального мира. Информация из физического мира – это, например, положение или состояние инструмента, а информацией из виртуального мира могут быть электронные документы, чертежи или имитационные модели. Calm-системами в данном контексте называются технические средства «Умного предприятия». Основное отличие calm-систем от систем других типов заключается в их способности общаться и взаимодействовать с окружающей средой [30]. Взяв за основу определения, данные для КФС и IoT, понятие «Умного предприятия» можно определить как предприятие, на котором киберфизические системы общаются через «Интернет вещей» и помогают людям и механизмам выполнять свои задачи. Примером «Умного предприятия» может служить производственное оборудование компании WITTENSTEIN BASTIAN в Фельбахе (Германия), которое организуется по принципам «бережливого производства» (lean production). Для реализации доставки обрабатываемых деталей к рабочей станции логистическим методом «милк ран», по запросу этой станции, используются «умные» контейнеры. О том, что деталь готова к доставке и можно запускать «милк ран», «умный контейнер» сообщает только тогда, когда получен запрос на эту деталь. Это помогает сократить количество перевозок «милк ран» и освобождает персонал от лишней работы [37].

4.2. Определение Industry 4.0

Основываясь на результатах анализа публикаций на тему Industry 4.0, авторы определяют Industry 4.0 следующим образом: Industry 4.0 – это собирательный термин для технологий и концепций организации цепочки создания стоимости (ценности) (Industrie 4.0 is a collective term for technologies and concepts of value chain organization). В рамках модульно структурированных «Умных предприятий» киберфизические системы (КФС) отслеживают физические процессы, создают виртуальную копию физического мира и принимают децентрализованные решения. По «Интернету вещей» (IoT) киберфизические системы (КФС) общаются и взаимодействуют друг с другом и людьми в режиме реального времени. По «Интернету услуг» (IoS) предлагаются услуги, как в пределах организации, так и между организациями, которые используются участниками цепочки создания стоимости.

5. Принципы проектирования Industry 4.0

Исходя из всего вышеизложенного авторы вывели для сценариев реализации Industry 4.0 следующие принципы проектирования. На эти принципы компании могут опираться при создании пилотных проектов Industry 4.0 для последующей реализации. Всего из компонентов концепции Industry 4.0 получено шесть принципов проектирования (табл. 3).

Приведённые в таблице принципы проектирования объясняются далее на примере установки по изготовлению приспособлений для поиска ключей («искатели ключей») компании SmartFactory^{KL}. SmartFactory^{KL} – это независимая технологическая инициатива, выдвинутая Германским центром исследований в области искусственного интеллекта (German Research Center for Artificial Intelligence – DFKI). Демонстрационная установка по изготовлению «искателей ключей» (см. рис.) была построена в рамках проекта RES-COM. На ней производится изготовление деталей и сборка «искателей». Корпус каждого «искателя» снабжён RFID-меткой, которая предоставляют всю связанную с процессом производства информацию [37].

5.1. Интеропребальность

Интеропребельность – очень важный компонент, необходимый для реализации Industry 4.0. В концепции Industry 4.0 подразумевается, что бизнес-компании, киберфизические системы и рабочий персонал связаны друг с другом через «Интернет вещей» или «Интернет услуг». Ключевым фактором успешного взаимодействия между КФС различных производителей будут стандарты. Немецкая ассоциация по электрическим, электронным и информационным технологиям (German Commission for Electrical, Electronic & Information Technologies) немецкого института по стандартизации (DIN) и союза немецких электротехников (VDE), осознав эту потребность, выпустила в 2013 году перспективный план по стандартизации в Германии – German Standardization Roadmap. В контексте инициативы SmartFactory^{KL} интероперабельность означает, что все КФС её опытных установок (транспортировщики заготовок, сборочная станция и готовые изделия) могут взаимодействовать друг с другом «посредством открытых сетей и семантических описаний» [38].

Табл. 3. Принципы проектирования каждого компонента Industry 4.0

	Киберфизические системы	Интернет вещей	Интернет услуг	Умное предприятие
Интероперабельность	X	X	X	X
Виртуализация	X	–	–	X
Децентрализация	X	–	–	X
Возможность работы в режиме реального времени	–	–	–	X
Ориентированность на предоставление услуг	–	–	X	–
Модульность	–	–	X	–

5.2. Виртуализация

Виртуализация означает, что КФС могут отслеживать физические процессы. Получаемые с сенсоров данные вводятся в модели виртуальных установок и имитационные модели. Таким образом создаётся виртуальная копия физического мира. В опытной установке компании SmartFactory^{KL} её виртуальная модель учитывает состояние всех КФС. В случае сбоя об этом сообщается человеку-оператору. Кроме того, предоставляется вся необходимая информация, например описание следующих рабочих действий или шагов по обеспечению безопасности [18]. Таким образом, справляться человеку-оператору с растущей технической сложностью становится проще [38].

5.3. Децентрализация

В настоящее время растёт потребность в продуктах, изготовляемых по индивидуальным заказам, поэтому всё труднее и труднее управлять соответствующими системами централизованно. Благодаря встроенным компьютерам, КФС могут принимать решения самостоятельно. На более высокий уровень решение задач передаётся только в случае отказов [41]. Тем не менее в интересах обеспечения качества и оперативного контроля необходимо отслеживать состояние и поведение системы в любое время. В контексте организации SmartFactory^{KL} децентрализация установок означает, что RFID-метки «говорят» механизмам, какие рабочие действия необходимо выполнить. Таким образом, централизованное планирование и управление больше не требуется [37].

5.4. Возможность работы в режиме реального времени

С точки зрения организации задач необходимо, чтобы данные собирались и анализировались в режиме реального времени. В SmartFactory^{KL} состояние установки постоянно отслеживается и анализируется. Таким образом, установка может реагировать на отказ одного из механизмов и перенаправлять изделия на обработку к другому механизму [37].

5.5. Ориентированность на предоставление услуг

Услуги компаний, киберфизических систем и рабочего персонала доступны через «Интернет услуг» и могут использоваться другими участниками. Услуги могут предоставляться как внутри компании, так и за её пределами. Так, архитектура цеховой площадки SmartFactory^{KL} предусматривает предоставление услуг. Все КФС предлагают свою функциональность в качестве пакета web-сервисов. В результате технологический процесс по изготовлению конкретного продукта может быть составлен на основе конкретных требований заказчика, зашифрованных и предоставленных с помощью RFID-метки [37].

5.6. Модульность

Системы, составляемые по принципу модульности, могут гибко адаптироваться под изменяющиеся требования методом замены или расширения отдельных модулей. Таким образом, модульные системы можно легко приспосабливать к сезонным требованиям или к изменениям характеристик изготавливаемых изделий. В установке SmartFactory^{KL} новые модули могут добавляться по принципу plug&play («подключи и работай»). Новые модули, выполненные с использованием стандартизованных программных и аппаратных интерфейсов, идентифицируются автоматически и могут использоваться непосредственно через «Интернет услуг» (IoS) [38].

6. Заключение

Данная статья – это вклад в дискуссию, которая развёрнута в научно-инженерном сообществе вокруг концепции Industry 4.0.

В статье даётся определение Industry 4.0, благодаря чему создаётся общее понимание этого термина, необходимое для корректного обсуждения этой темы. Из четырёх базовых компонентов Industry 4.0 вытекают принципы проектирования систем в рамках данной концепции, которые помогают идентифицировать, описывать и выбирать сценарии реализации Industry 4.0 в контексте дальнейших исследований.

С точки зрения практики вклад данной статьи двояк. Во-первых, даётся определение Industry 4.0, которое помогает прояснить понимание этого термина среди инженеров-практиков. Во-вторых, сформулированные шесть принципов проектирования могут использоваться для реализации проектов Industry 4.0 в бизнес-компаниях. Они помогут найти возможные примеры применения и стать руководством при их воплощении в жизнь.

Возможно, что при дальнейших исследованиях феномена Industry 4.0, будут выявлены и описаны и другие сценарии реализации четвёртой промышленной революции. Как бы то ни было, «Industry 4.0 приходит к нам с неизбежностью, хотим мы этого или нет» [13]. Это часть производственных и технологических процессов будущего.

7. Литература

1. Aristotle, 350 BC: On Interpretation. Translated by Edghill E. M.

2. Bauer, W., S. Schlund, D. Marrenbach and O. Ganschar, 2014: Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland.

3. Bauernhansl T., 2014: Die vierte industrielle Revolution. Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma, p. 3-35. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, 2014: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologie, Migration.

4. Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, eds., 2014: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien und Migration.

5. Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2014: Zukunftsbild Industrie 4.0 retrieved on 30th October 2014: http://www.bmbf.de/pubRD/Zukunftsbild_Industrie_40.pdf

6. Bungart, S., 2014: Industrial Internet versus Industrie 4.0. Produktion – Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie. Retrieved from http://www.produktion.de/automatisierung/industrial-internet-versus-industrie-4-0/print (1.12.2014).

7. Buxmann P., T. Hess and R. Ruggaber, 2009: Internet of Services. Business & Information Systems Engineering 5, 341 – 342.

8. Bürger, T. and K. Tragl, 2014: SPS-Automatisierung mit den Technologien der IT-Welt verbinden. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, eds., 2014: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration, 559–569.

9. Cooper, H. M., 1988: Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews. Knowledge in Society, 1, 104–126.

10. Dais, S., 2014: Industrie 4.0 – Anstoß, Vision, Vorgehen. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser eds., 2014: Industrie 4. 0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration, 625–634.

11. Davis, J., T. Edgar, J. Porter, J. Bernaden, and M. Sarli, 2012: Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance. *FOCAPO 2012, 47*.

12. Drath, R., 2014: Industrie 4.0 – eine Einführung, 3, 2–7. Retrieved from http://www.openautomation.de/fileadmin/user_upload/Stories/Bilder/oa_2014/oa_3/oa_3_14 _ABB.pdf (2.12.2014).

13. Drath, R. and A. Horch, 2014: Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine, 8*(2), 56–58.

14. eco –Verband der deutschen Internetwirschaft e.V., 2014: Wirtschaft ohne Orientierung bei Industrie 4.0. Retrieved from https://www.eco.de/2014/pressemeldungen/eco-wirtschaft-ohne-orientierung-bei-industrie-4- 0.html (28.11.2014).

15. Evans, P. C. and M. Annunziata, 2012: Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines. Retrieved from http://www.ge.com/docs/chapters/Industrial_Internet.pdf (6.11.2014).

16. Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik: Smart Face: Smart Micro Factory für Elektrofahrzeuge mit schlanker Produktionsplanung. Retrieved from http://deutscherinfografikpreis.de/sites/default/files/info-poster_smartface.pdf (20.11.2014)

17. Giusto, D., A. Iera, G. Morabito and L. Atzori, eds., 2010: The Internet of Things.

18. Gorecky, D., M. Schmitt and M. Loskyll, 2014: Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, 2014: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologie,Migration.

19. Gregor, S., 2002: A Theory of Theories in Information Systems. In: Gregor, S. D. and D. N. Hart, eds., 2002: Information Systems Foundations. Building the Theoretical base, 1–20.

20. Gregor, S., 2009: Building Theory in the Sciences of the Artificial. In V. Vaishanvi, ed., *Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology.*

21. Günthner, W., E. Klenk and P. Tenerowicz-Wirth, 2014: Adaptive Logistiksysteme als Wegbereiter der Industrie 4.0. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, eds., Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration, 297–323.

22. Industrial Internet Consortium, 2013: Fact Sheet. Retrieved from http://www.iiconsortium.org/docs/IIC_FACT_SHEET.pdf (3.12.2014).

23. Jasperneite, J., 2012: Alter Wein in neuen Schläuchen. Computer & Automation, 12, 24–28. Retrieved from http://www.ciit-owl.de/uploads/media/410-10%20gh%20Jasperneite%20CA%202012-12_lowres1.pdf (3.12.2014).

24. Kagermann, H., W. Lukas and W. Wahlster, 2011: Industrie 4.0: Mitdem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI nachrichten, 13*.

25. Kagermann, H., W. Wahlster and J. Helbig, eds., 2013: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*: Final report of the Industrie 4.0 Working Group.*

26. Kagermann, H., 2014: Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, eds., 2014: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration, 603–614.

27. Kempf, D., 2014: Vorwort. In F. I. BITKOM, ed., Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, 5.

28. Lasi, H., P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld and M. Hoffmann, M., 2014: Industrie 4.0: Bedarfssog und Technologiedruck als Treiber der vierten industriellen Revolution. WIRTSCHAFTSINFORMATIK, *56*(4), 261–264.

29. Lee, E. A., 2008: Cyber Physical Systems: Design Challenges. *11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC),* 363–369.

30. Lucke, D., C. Constantinescu and E. Westkämper, 2008: Smart Factory – A Step towards the Next Generation of Manufacturing. In: Mitsuishi, M., K. Ueda and F. Kimura, eds., Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, *the 41st CIRP conference on manufacturing systems, Tokyo, Japan, 115–118*

31. Plattform Industrie 4.0.,2013: Industrie 4.0 - Whitepaper FuE Themen. Retrieved from http://www.plattformi40. de/sites/default/files/Whitepaper_Forschung%20Stand%203.%20April%202014_0.pdf (13.12.2014).

32. Plattform Industrie 4.0, 2014: Industrie 4.0. Whitepaper FuEThemen. Retrieved from http://www.plattformi40. de/sites/default/files/Whitepaper_Forschung%20Stand%203.%20April%202014_0.pdf (30.11.2014).

33. Plattform Industrie 4.0., 2014: Was Industrie 4.0 (für uns) ist. Retrieved from http://www.plattform-i40.de/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist (5.12.2014).

34. President's Council of Advisors on Science and Technology, 2014: Accelerating U.S. Advanced Manufacturing: *Report to the President*. Retrieved from http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/amp20_report_final.p df (30.11.2014).

35. Randolph, J. J., 2009: A guide to writing the dissertation literature review. Practical Assessment, Research & Evaluation, 14(13), 2. Retrieved from http://lincs.etsmtl.ca/uploads/media/v14n13.pdf (30.11.2014).

36. Scheer, A.-W., 2013: Industrie 4.0: Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus?.

37. Schlick, J., P. Stephan, M. Loskyll, and D. Lappe, 2014: Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, eds.,2014: Industrie 4. 0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration, 57–84.

38. SmartFactoryKL, 2014: Keyfinder production line. Retrieved from: http://smartfactory.dfki.uni-kl.de/en/content/demo/technological-demo/plant-industry4 (2.12.2014).

39. ten Hompel, M. and B. Otto, 2014: Technik für die wandlungsfähige Logistik. Industrie 4.0. *23. Deutscher Materialfluss-Kongress.*

40. Vom Brocke, J., A. Simons, B. Niehaves, K. Reimer, R. Plattfaut and A. Cleven, 2009: Reconstructing the Giant: On the Importance of Rigour in Documenting the Literature Search Process. *ECIS 2009 Proceedings*, 161.

41. Webster, J. and R. T. Watson, 2002: Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. Management Information Systems Quarterly, *26*(2), 3.

42. Westermann, H., 2001: Unterschied, spezifischer. In: Ritter, J., K. Gründer and G. Gabriel, eds., 2001: Historisches Wörterbuch der Philosophie - Band XI .

43. Wiesmüller, M., 2014: Industrie 4.0: surfing the wave? e & i Elektrotechnikund Informationstechnik, 1.

Источник: http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf

По материалам Deutsche Messe

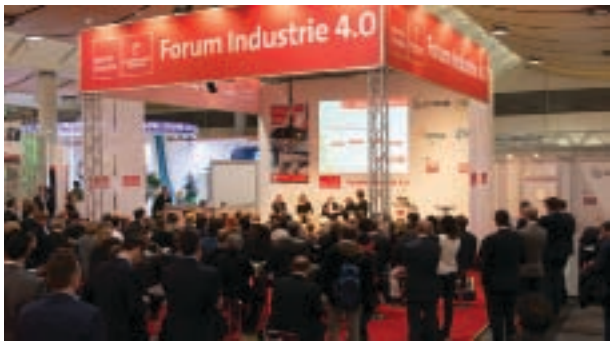
«Интегрированное производство» – новая высота Hannover Messe

С 13 по 17 апреля 2015 года с успехом прошла очередная Ганноверская выставка-ярмарка Hannover Messe 2015 – ведущее мировое событие в области промышленных технологий. В этом году оно проводилось под девизом «Integrated Industry – Join the Network!» – «Интегрированное производство – подключайтесь к Сети!». В центре внимания была концепция Industry 4.0, роботы и интеллектуальные энергосистемы. Заметной вехой стало продвижение Индии в качестве страны-партнёра, самопрезентация которой установила новые стандарты подобного участия.

Пять бурных дней выставки – это демонстрация промышленных инноваций, активная работа сетевых инфраструктур и хлопоты маркетологов по выявлению круга потенциальных потребителей новшеств. Они не оставили равнодушными ни участников, ни посетителей из различных сфер промышленности, бизнеса и государственных структур. Основное внимание многочисленных посетителей – а это более 220 000 профессионалов, рекордные 70 000 из которых – зарубежные гости Германии – привлекли такие темы, как цифровизация производства, «сотрудничество» людей и машин, инновационные субподрядные решения и интеллектуальные энергосистемы. Цель их приезда на выставку – приобщиться к новейшим технологиям и определиться с направлением основных инвестиций.

Ярмарка HANNOVER MESSE 2015 безоговорочно показала, что провозглашённая несколькими годами ранее «четвёртая промышленная революция» – Industry 4.0 – уже на пороге и затрагивает все индустриальные сферы. Ключевым аспектом современного производства становится цифровая интеграция, и эта тенденция стремительно набирает обороты. По словам одного из организаторов выставки из компании Deutsche Messe Йохана Кёклера (Jochen Köckler), «за несколько дней ганноверского шоу новейшие технологии для внедрения на производственных предприятиях и в энергетических системах завтрашнего дня были представлены на стендах около 6500 компаний из 70 стран». Настоящей сенсацией стало «выступление» Индии в роли Partner Country – страны-партнёра, которая проводила на HANNOVER MESSE кампанию по своему продвижению под слоганом *Make in India* – «Производите в Индии».

Девиз, под которым работала HANNOVER MESSE этого года, – *Integrated Industry – Join the Network! («Интегрированное производство – подключайтесь к Сети!»),* позволил дать отчётливый образ «интеллектуальной фабрики». Это фабрика будущего, в которой станки, оборудование и продукция будут беспрепятственно обмениваться информацией, что даст оптимальное качество



создаваемых продуктов и максимальную эффективность их производства. Как отметил Кёклер, «HANNOVER MESSE показала, что концепция Industry 4.0 – это больше чем вдохновляющее модное слово. Это реальность. Впервые решения по реализации «умных фабрик», которые презентовались на выставке, можно купить и внедрить на своих «заводах». «Значительную роль на выставке играли и роботы, чья быстрая, точная и мощная работа неизменно привлекала внимание посетителей. В этой области проявилась и новая тенденция, суть которой в том, что больше нет барьеров, разделяющих роботов и людей. Роботы, напротив, занимают своё законное место рядом с коллегами-людьми в качестве «командных игроков», беря на себя выполнение монотонных и физически сложных задач. Роботы «обрели свободу» и теперь могут непосредственно становиться членами производственных бригад», – сказал Кёклер.

Однако интеграция не ограничивается только производственными операциями. Быстро становятся интеллектуальными и энергетические системы, что способствует переходу на возобновляемые источники энергии. К электросети подключается всё большее число децентрализованных генераторов энергии, включая ветровые, солнечные, гидроэлектростанции и биогазовые установки. «На стендах многих участников выставки демонстрировались пионерские решения непростой задачи – соединить все упомянутые формы энергогенерации в единую интеллектуальную энергосеть и адекватно распределить эту энергию среди потребителей», – отметил Кёклер.

«По всему миру много говорится о том, что Германия – не только ведущая промышленная страна, но и лидер в четвёртой промышленной революции – Industry 4.0. Это красноречиво показывает выставочная статистика», – отметил Кёклер. Из более 220 000 посетителей HANNOVER MESSE 70 000 приехали из-за рубежа – новый рекорд ганноверского события. «Все они – от рядовых сотрудников малых и средних предприятий до генерального директора промышленного гиганта Foxconn – прибыли в Ганновер в поиске возможностей создания более интегрированного, более быстрого и более индивидуализированного производства. Это означает, что им нужны передовые технологии, то есть Industry 4.0. И они, зная, что Германия уже неплохо продвинулась на этом пути, приехали на HANNOVER MESSE за соответствующим опытом», – добавил он.

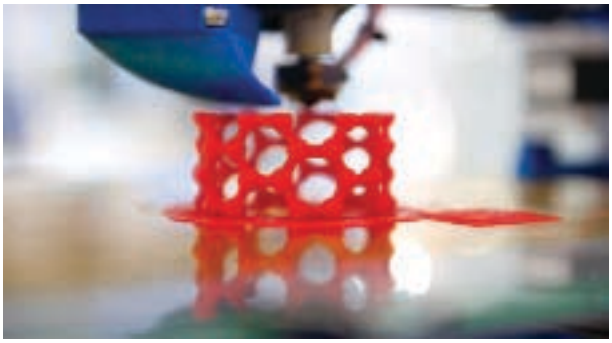
Притягательная сила Industry 4.0 отлично проявилась в огромном спросе на тематические экскурсии, форумы и события, посвящённые главном теме ярмарки. По словам Кёхлера, «экскурсионные туры на тему Industry 4.0 были буквально расхватаны посетителями. Так же рвались и на форум по Industry 4.0. Через несколько первых часов работы выставки пришлось ор-

ганизовать повторные экскурсии по Industry 4.0. Очень востребованными оказались круглые столы и события в рамках поддерживающей программы».

Посетители HANNOVER MESSE были восхищены тем, как уверенно, прогрессивно и ново показала себя делегация профессионалов из Индии – страны-партнёра Ярмарки этого года. Индия успешно позиционирует себя в качестве перспективной промышленной страны, показав на ганноверском шоу свои товары и услуги от более 400 компаний. Она поставила задачу привлечь иностранные компании на свой рынок, с одной стороны, и побудить индийские предприятия к более тесному сотрудничеству с германским бизнесом и промышленностью, с другой. «Здесь в Ганновере и по всей Германии Индия организовала впечатляющие представления, максимально использовав все возможности, данные ей как стране-партнёру HANNOVER MESSE, и установив новые стандарты для самопрезентаций стран-партнёров на будущих ганноверских шоу», – отметил Кёклер.

Ярмарка 2015 года была для Индии успешной во всех отношениях. В качестве страны-партнёра одного из крупнейших в мире инженерно-производственных шоу, под активным руководством премьер-министра Индии Шри Нарендра Моди (Shri Narendra Modi) и министра торговли и промышленности госпожи Шримати Нирмала Ситхараман (Shrimati Nirmala Sitharaman), индийские компании смогли продемонстрировать перед интернациональной аудиторией свои технические навыки, инженерные способности и человеческие ресурсы. Это результат отличной и слаженной работы Совета по развитию экспорта высокотехнологичной продукции Индии (EEPC India) – ведущего индийского агентства, благодаря которому 350 индийских компаний из различных секторов экономики смогли показать на выставке свои инженерные достижения и компетенцию. Крупные индийские компании, такие как Roots India, HEC (и многие другие) подписали меморандумы о договорённости со своими немецкими коллегами. Подписан меморандум и с BVMW – ведущей германской ассоциацией предприятий малого и среднего бизнеса, насчитывающей 270 000 участников. Индийское агентство EEPC India выразило искреннюю признательность канцлеру Германии Ангеле Меркель, вице-канцлеру Зигмару Габриэлю, министру-президенту Нижней Саксонии Штефану Вайлю и другим официальным лицам за их поддержку, помощь и вклад в большой успех индийских бизнес-компаний на ганноверском шоу. Агентство уверено, что этот успех – только начало будущего успешного взаимовыгодного сотрудничества между промышленными отраслями Германии и Индии.

Следующая Ганноверская выставка-ярмарка состоится с 25 по 29 апреля 2016 года.



Александр Ковалёв, Олег Холодный, ЗАО «РТСофт»

Высоконадёжные промышленные ПК формата Box PC: борьба за отечественного пользователя

Российские разработчики начинают всё тщательнее подходить к выбору компонентов для построения различного рода ответственных систем, опираясь на собственный немалый опыт и принимая во внимание всё большее количество факторов. Мелочи, упущенные на этапах выбора техники, обязательно заявят о себе в режиме многолетней эксплуатации в составе сложных комплексов, которые в ряде случаев являются частью инфраструктуры объектов государственной важности. Выбор компьютерной техники для такого типа приложений сам по себе является задачей ответственной, и текущая практика говорит о массовом применении офисных ПК, стоечных промышленных компьютеров либо бесшумных промышленных решений класса Box PC. Последние набирают всё большую популярность и по ряду объективных причин вытесняют стоечные промышленные и офисные ПК из традиционно сложившихся приложений. Среди этих причин – длительная доступность, повышенная надёжность и стойкость к внешним воздействиям, малые габаритные размеры и простота в обслуживании.

Может показаться, что организовать АРМ оператора или диспетчера для автоматизированных систем управления на транспорте или в энергетике можно с использованием любых PC-совместимых систем, включая офисные и самосборные. Однако при попытке практической реализации немедленно начинаются сложности. Проекты такого уровня не завершаются единовременной установкой и вводом в эксплуатацию партии компьютеров, они реализуются годами, и на протяжении всего этого времени необходимо иметь возможность приобретать очередные партии идентичной компьютерной техники.

Длительный жизненный цикл компьютеров – ключевой вопрос при реализации долгосрочных проектов

Первое, с чем столкнутся разработчики, решившие положиться на поставщика офисных решений там, где необходимы решения промышленные, – это постоянные изменения элементной базы. На профессиональном жаргоне машины, подверженные данному недугу, называются системами с коротким жизненным циклом. Офисные компьютеры эволюционируют стремительно, и спустя всего год после первоначальной поставки разработчикам вряд ли удастся купить хотя бы одну систему в точно такой же конфигурации, которая была у исходных машин. Приобретая же офисный компьютер с иной начинкой, пусть даже «почти» такой же, но всё-таки не в точности такой, придётся дорабатывать (если не переписывать) прикладное ПО, заново тестировать целевой аппаратно-программный комплекс и заново его сертифицировать. Всякий раз после получения очередной партии коммерческого офисного оборудования разработчикам придётся тестировать своё программное обеспечение на предмет корректности взаимодействия с новыми аппаратными средствами. Это неизбежно повлечёт дополнительные расходы, связанные с отвлечением инженерных ресурсов, сопровождением, затягиванием сроков исполнения проекта и т. д., и т. п. вплоть до штрафных санкций.

Производитель и поддержка не так близки, как хотелось бы

Ещё одна проблема – это затруднённость, а нередко и полное отсутствие обратной связи с мировым OEM-производителем. Российская компания, реализующая небольшой проект в объемах до 1000 компьютеров в год, не представляет для массового производителя особого интереса. Сложно догово-

риться с таким производителем о доработке BIOS, реализации заказной схемотехники, кастомизации или адаптации его серийных изделий под вашу задачу: массовый выпуск огромными партиями в десятки и сотни тысяч штук не оставляет ему места для манёвра и сострадания. Известность бренда здесь роли не играет, подобная инерция есть неизбежное следствие больших объёмов производства и ориентации на массового потребителя. Учёт требований отдельных неоптовых заказчиков является для производителя офисных решений непозволительной роскошью, ему экономически невыгодно перенастраивать свои НИР и производственные процессы в угоду тем, кто приобретает в лучшем случае несколько сотен единиц оборудования.

Надёжность должна складываться по крупицам

Данный вопрос тесно связан с предыдущим. Последнее, о чём думает производитель офисных ПК, – это учёт интересов промышленного сектора и то, насколько его компьютеры отвечают либо могли бы отвечать соответствующим потребностям. Притом что у компаний, реализующих проекты промышленного класса, довольно высокие запросы. Им нужны компьютеры, которые не сломаются через пару лет эксплуатации, имеют длительные сроки гарантии и локальную поддержку. Здесь уместно вспомнить, что для промышленных систем характерны условия эксплуатации, совершенно не характерные для офиса. Офисные системы не обязаны обладать повышенной устойчивостью к воздействию экстремальных температур, ударов и вибрации, им не нужна влагозащищённость, в них не используются ни конденсаторы с твёрдым диэлектриком, ни дополнительные блоки питания на случай сбоя основного. Говоря проще, они рассчитаны на совсем другие приложения, нежели те, что принято относить к промышленным либо ответственным и потому малопригодны за пределами своих основных сфер применения.

Там, где «хромают» эргономичность и удобство для пользователя

Даже самые компактные офисные компьютеры могут оказаться недостаточно компактными в контексте промышленных задач. Их бывает проблематично даже поместить в шкаф либо смонтировать в стойку, не говоря уже о встраивании в операторскую консоль или использовании в качестве бортового компьютера транспортного средства. Между тем малые размеры, различные варианты монтажа и возможность встраивания являются критически важными параметрами для очень и очень многих проектов промышленного класса, оперирующих с ограниченным свободным пространством. В частности, данные требования можно считать общими для всех приложений, где необходимо обеспечить эргономику и удобство для пользователя, дабы он мог действовать эффективно и своевременно принимать правильные решения. Указанная сфера включает широкий спектр, задач, связанных с работой диспетчеров и операторов, – от ответственных производств до систем жизнеобеспечения. Ещё одна характеристика, которая влияет на эргономику, – уровень шума. Многие компании, пытающиеся реализовать набирающую в мире популярность концепцию «тихого зала» в диспетчерских, вынуждены реализовывать довольно сложные и дорогостоящие схемы с использованием тонких клиентов и мощного серверного оборудования, требующего площадей и обслуживания.

Компьютеры для профессионалов

Устав от экспериментов с офисным компьютерным оборудованием и «самосбором», сегодня многие российские компании делают выбор в пользу профессиональных промышленных решений, прежде всего отечественных. Большую популярность в нашей стране снискали компактные изделия типа Box PC, позволяющие получить всю полноту возможностей современного высокопроизводительного компьютера в условиях ограниченного свободного пространства.

Идея заключить ПК в маленькую коробочку и использовать его затем в тех сферах, где применять обычные ПК не очень удобно, родилась не вчера: подобные продукты уже достаточно давно предлагаются различными западными и азиатскими производителями. Заметный рост спроса на данные изделия в самое последнее время обусловлен объективными причинами: прогресс в области встраиваемых компьютерных технологий позволяет заключить в малогабаритный корпус производительность и функциональность того уровня, который ещё совсем недавно могли обеспечить лишь большие стоечные серверы.

В нашей стране промышленные компьютеры типа Box PC востребованы на самых разных рынках, поскольку перекрывают широкий горизонтальный слой приложений, встречающихся в различных вертикальных отраслях, начиная с транспорта и заканчивая атомной и космической промышленностью. Какую бы ответственную область применения мы ни взяли, практически везде для обеспечения труда операторов и диспетчеров нужны универсальные решения, состоящие из одного или нескольких мониторов, монтирующихся на стол, на стену или каким-то иным образом, и резервированной компьютерной системы,

к которой эти мониторы подключаются. В идеале подобная система должна иметь малые размеры и допускать различные способы монтажа, чтобы её можно было без проблем поместить в любую свободную щель. Кроме того, было бы очень неплохо, если бы после однократной установки системы её можно было эксплуатировать весьма длительное время, а при необходимости – покупать другие такие же системы на протяжении 7–10 лет в неизменном виде. Желательно также, чтобы и уже установленную машину, и её последующие дополнительно приобретаемые экземпляры можно было легко модернизировать.

BLOK – бесшумный отечественный Box PC для ответственных эргономичных систем с длительным жизненным циклом

В продуктовых портфелях серьёзных игроков рынка промышленных Box PC всё перечисленное и многое другое предусмотрено по умолчанию. Рассмотрим, например, компьютер BLOK формата Box PC производства компании «РТСофт» (рис. 1). По сути, это не одно изделие, а платформа, на базе которой возможна реализация различных конфигураций в соответствии с решаемой заказчиком задачей. Компьютеры серии BLOK разработаны и произведены в России по программе импортозамещения с опорой на ультрасовременные достижения в области микропроцессорной техники, сетевых решений, мультимедийных интерфейсов, систем электропитания и производства точной 3D-механики. В каждом грамме машин сосредоточен более чем 20-летний успешный опыт инженеров РТСофт и партнёров – ведущих отечественных и зарубежных компаний из различных отраслей: энергетики, обороны, промышленности, транспорта и управления движением.

Достаточно просто посмотреть на компьютер BLOK вживую, чтобы понять, что данная система обладает неоспоримыми преимуществами. Сверхтонкий дизайн высотой 1U под 19-дюймовую стойку позволяет применять данную машину и как встраиваемый Box PC, и как стоечный компьютер. При этом машина имеет минимальную глубину 200 мм, благодаря чему BLOK можно устанавливать в сверхкомпактные шкафы и использовать для модернизации пультов управления, улучшая эргономику рабочих мест и создавая дополнительные конкурентные преимущества. Компактные размеры и легкий вес обеспечивают простоту и удобство встраивания.

Размеры и функциональность компьютера BLOK ломают стереотипы о необходимости использовать громоздкие операторские консоли и предоставляют свободу дизайнерам и конструкторам в создании ультрасовременных эргономичных человеко-машинных систем. BLOK отличается не только высокой надёжностью, но и длительным жизненным циклом, что гарантирует заказчику бюджетное тиражирование однажды созданных компетенций на протяжении многих лет в дальнейших проектах. Сердце BLOK – встроенный модуль в стандарте COM Express на базе мобильных процессоров Intel Core: гарантия совместимости, великолепных показателей производительности CPU/GPU и энергоэффективности. Следует упомянуть и об ещё одной полезной особенности промышленного компьютера BLOK: безвентиляторный Rugged-дизайн обеспечивает **абсолютно бесшумную** работу. Данное свойство крайне важно для комфортной и безопасной работы генерального заказчика – оператора/диспетчера.

Большой плюс решения BLOK – территориальная близость разработки, поддержки и сопровождения к конечному пользователю. Специалисты отечественной компании «РТСофт», разрабатывающие промышленные компьютеры BLOK, оказывают оперативную техническую поддержку, а при необходимости, доработку РКД и отраслевую сертификацию при оптимизации BLOK под конкретную задачу заказчика, в том числе написание драйверов под различные ОС и экспертизу прикладного ПО. Расширяемая гарантия на BLOK – 3 года. Все важнейшие компоненты машины рассчитаны на режим работы 24/7, включая резервированную систему питания. Рекордная гарантия и высокая надёжность обеспечивают низкую стоимость владения.

Лёгкость и удобство модернизации – ещё одно ключевые достоинство этого промышленного Box PC. Компьютер BLOK построен на базе международного стандарта COM Express, который определяет унифицированные модули с процессором, чипсетом и памятью, устанавливающиеся на базовую плату. Процессорные модули COM Express массово выпускаются компаниями по всему миру, включая РФ. Несложной заменой модуля COM Express можно повысить

Рис. 1. Так выглядит ультрасовременный промышленный компьютер BLOK, разработанный и производящийся российской компанией «РТСофт»

производительность системы до уровня следующего поколения ЦП Intel. При необходимости можно использовать модули COM Express отечественного производства с российской микропроцессорной архитектурой – такие конфигурации востребованы на рынке спецприменений, и для заказчиков с этого рынка, а также для тех, кто занимается сопровождением и обслуживанием систем специального назначения, данная опция – весьма существенное преимущество. Платформа BLOK, таким образом, становится отправной точкой для целых поколений и семейств конечных систем, имеющих разную производительность, разные возможности, адресованных разным рынкам и даже построенных на процессорах принципиально различных типов.

Стихия работы BLOK – сети Ethernet. Интерфейсная подсистема включает четыре порта Gigabit Ethernet, шесть портов USB 3.0/2.0 и два COM-порта, а также микрофонный вход и линейный выход звукового кодека Intel HD. Для расширения исходной функциональности доступны два полноразмерных слота Mini PCI Express: обеспечена подготовка для работы в средах Wi-Fi и GSM, а также с аппаратно-программными модулями доверенной загрузки (АПМДЗ).

В базовой конфигурации промышленный компьютер BLOK построен на чипсете Intel Mobile Q87 и оснащён двухъядерным процессором Intel Core i5 Haswell с тактовой частотой 1,6 ГГц (может быть заменён на другие ЦП серий Intel Core i7, Intel Atom и др.). Объём памяти типа DDR3L-1600 достигает 16 Гбайт, роль накопителей (2 шт.) играют 2,5-дюймовые твердотельные либо жёсткие диски. Возможна их организация в RAID-массив.

Важная особенность платформы BLOK в контексте задач визуализации, оснащения операторских и организации автоматизированных рабочих мест – поддержка вывода на три дисплея в разрешениях до 4K с одновременной передачей аудиоинформации, обеспечиваемая тремя интерфейсами DisplayPort (вместо одного интерфейса DisplayPort может быть порт DVI-D) (рис. 2). Тепловыделение процессора Intel Core в пределах 47 Вт позволяет системе быть безвентиляторной и, как следствие, иметь повышенную механическую надёжность и нулевой уровень шума. Дополнительную надёжность обеспечивает также резервированный блок питания 220 В/50 Гц. Гарантия производителя составляет 3 года, при этом средняя наработка на отказ (MTBF – Mean Time Between Failures) 70000 часов (более 7 лет). При размерах 44 мм (1U) × 415 мм (19”) × 200 мм базовая конфигурация весит 4,4 кг, может эксплуатироваться при температурах от –10 до +55°C и монтируется в 19-дюймовую стойку, на стену, на рейку DIN либо устанавливается на стол. В наличии сертификаты ГОСТ Р и ТС,

Рис. 2 Бесшумный промышленный компьютер BLOK российской компании «РТСофт» способен осуществлять вывод на три дисплея в разрешениях до 4K с одновременной передачей аудиоинформации. На фото система BLOK подключена к трём мониторам GT777, также разрабатываемых в «РТСофт» и производящихся на собственных мощностях компании

производитель имеет лицензии TUV ISO 9001-2008, Военного Регистра, ФСТЭК, Ростехнадзора и ФСБ. Стандартная программная поддержка включает BSP-пакеты на основе ОС Windows 7, Windows 8, Windows Embedded Standard 7, Windows Embedded 8 Standard и Linux; по желанию заказчика возможна адаптация QNX, VxWorks, LynxOS, PikeOS и иных встраиваемых операционных систем и ОСРВ. Также по желанию клиента возможно изменение характеристик питания, расширение температурного диапазона, усиление механических свойств, повышение класса защиты IP, проведение специсследований, спецпроверок и приёмки заказчика.

KBox – необслуживаемые встраиваемые компьютеры широкого применения

Хорошее представление об уровне развития современных промышленных Box PC могут также дать изделия серии Kontron KBox. Высочайшая надёжность сочетается в этих компьютерах с увеличенным жизненным циклом, составляющим 5–7 и более лет, при этом по техническим характеристикам и функциональности они зачастую не уступают стоечным ПК аналогичной и даже более высокой цены. С другой стороны, встраиваемые решения KBox можно с успехом использовать для замены ПЛК. На передней панели различных модификаций KBox предусмотрен разъём для подключения к классическим промышленным сетям Profibus или CAN; поддержка других промышленных интерфейсов может быть реализована при помощи модулей расширения Mini PCI Express.

Ориентация на промышленные применения проявляется ещё и в том немаловажном факте, что многие модели из семейства KBox позиционируются производителем как изделия, в принципе и никогда **не нуждающиеся в техническом обслуживании** (принцип Wartungsfrei). Иными словами, это не просто высоконадёжное оборудование, а оборудование исключительно высокой надёжности. Средняя наработка на отказ для линейки KBox достигает 150000 часов, что в комбинации с принципом Wartungsfrei означает более 17 лет безостановочной безаварийной работы в стиле «поставил и забыл», то есть без какого-либо вмешательства технического персонала.

Семейство KBox является гибким и масштабируемым. Что касается масштабируемости по такому важному параметру, как производительность, в продуктовой серии KBox представлен широкий диапазон процессоров, начиная с самых бюджетных версий Intel Atom и заканчивая мощными современными ЦП Intel Core четвёртого поколения, для которых также доступна опция безвентиляторного охлаждения. Гибкость выражается, в частности, в том, что все встраиваемые промышленные компьютеры из данной линейки оснащены современными видеоинтерфейсами (HDMI, DVI или DisplayPort), при этом многие модели способны осуществлять вывод сразу на несколько мониторов. Ещё одна общая черта линейки KBox, имеющая прямое отношение к гибкости, – присутствие слотов расширения PCI Express и Mini PCI Express у абсолютно всех моделей. Благодаря наличию разъёмов mSATA быстрые твердотельные накопители можно устанавливать даже в самые малогабаритные версии KBox, при этом некоторые модификации обеспечивают поддержку сменных карт памяти. Также у большинства изделий серии KBox есть порты USB 3.0. Одна из характерных особенностей продуктовой серии KBox – развитая коммуникационная функциональность: все новые модели имеют не менее двух портов Gigabit Ethernet и поддерживают при этом подключение к беспроводным сетям Wi-Fi/3G/4G, что делает их готовыми платформами для разработки передовых приложений класса «Интернет вещей» (Internet of Things – IoT).

Рис. 3. Необслуживаемый промышленный компьютер KBox A-201 выполнен на базе экономичного ЦП Intel Quark X1021 и весит 1 кг при размерах 150 мм × 57 мм × 95 мм

Рис. 4 KBox A-103 – высоконадёжный ПК в корпусе размерами 210 мм × 65 мм × 140 мм для задач класса «Интернет вещей» и других приложений промышленного класса

Возьмём в качестве примера новейшую модель KBox A-201, позиционирующуюся как компьютер для построения приложений класса «Интернет вещей» и выполненный на базе экономичного процессора Intel Quark X1021 (1 ядро, тактовая частота 400 МГц) с интегрированным чипсетом (рис. 3). Для повышения механической надёжности данного компьютера память DDR3L объёмом до 1 Гбайт напаивается непосредственно на печатную плату. Исходная функциональность ввода-вывода включает интерфейс HDMI, два порта Gigabit Ethernet, два порта USB 2.0 и три последовательных интерфейса. Дополнительный ввод-вывод можно организовать на базе слота Mini PCI Express, также доступны конфигурации с интерфейсом шины CAN и тремя антеннами Wi-Fi. В наличии слот SIM-карты и слот для установки карты памяти MicroSD. Тепловыделение системы не превышает 10 Вт, что позволяет системе быть безвентиляторной и бесшумной. Изделие имеет размеры 150 мм × 57 мм × 95 мм, весит 1 кг, рассчитано на эксплуатацию при температурах –40...+75°C и пригодно для использования как в задачах IoT, так и в широчайшем спектре других промышленных приложений. Данный компьютер типа Box PC является необслуживаемым (Wartungsfrei), при этом все его коммуникационные средства доступны со стороны передней панели, что повышает удобство работы с устройством при его установке в шкаф.

Как уже говорилось, в линейке KBox есть более производительные и гораздо более производительные изделия, обеспечивающие масштабируемость по процессору и функциональности. Модель KBox A-103 оснащается различными ЦП серии Intel Atom вплоть до Intel Atom E3845 (платформа Bay Trail, 4 ядра, тактовая частота 1,91 ГГц). Объём памяти DDR3L, устанавливающейся в 1 слот SO-DIMM (204 контакта), может достигать 8 Гбайт. В наличии два порта Gigabit Ethernet, порт USB 3.0, два порта USB 2.0, до трёх последовательных интерфейсов, цифровой ввод-вывод (по четыре линии TTL на вход и на выход), слот SIM-карты, бортовая флеш-память объёмом до 16 Гбайт, слот mSATA, слот для установки 2,5-дюймового накопителя и два слота расширения Mini PCI Express. Благодаря малому тепловыделению (не более 50 Вт) компьютер KBox A-103 (рис. 4) не нуждается в вентиляторах и не требует технического обслуживания (Wartungsfrei). Изделие заключено в алюминиевый корпус габаритами 210 мм × 65 мм × 140 мм, весит 2,5 кг, работает при температурах –20...+60°C и допускает монтаж на рейку DIN, на стену, на стол либо в шкаф. Доступны операционные системы Windows Embedded 8, Windows 7, Windows Embedded Standard 7, Windows Embedded Compact 7, Fedora и Ubuntu.

Заключение

По своим характеристикам продукция поставщиков офисной техники не всегда удовлетворяет требованиям промышленных задач, поскольку данное оборудование предназначено для других областей применения и выпускается огромными партиями для всех пользователей сразу без дифференциации на прикладные сегменты, тем более сегменты, для офисного рынка чуждые и экзотические. Производителю офисных машин неинтересно прислушиваться к просьбам потребителей, на чью долю приходится ничтожный процент закупок их продукции.

Избежать подобных проблем позволяют промышленные компьютеры, разрабатывающиеся специально для приложений промышленного класса и обладающие в этой связи рядом характеристик, принципиально важных с точки зрения ответственных задач (повышенная надёжность, длительный жизненный цикл и др.).

Компания «РТСофт» поставляет две линейки высоконадёжных изделий в формате Box PC, отвечающих всем базовым требованиям, которые пользователи вправе предъявлять к промышленным компьютерам. Встраиваемое решение BLOK собственной разработки «РТСофт» не имеет аналогов среди продукции как отечественных, так и зарубежных поставщиков. Платформа BLOK допускает использование процессоров самой разной производительности и различных типов, от Intel Atom до «Эльбрус». Помимо прочего это даёт заказчику большую свободу манёвра по затратам: если для его задач достаточно возможностей микроархитектуры Intel Bay Trail, нет никакой нужды использовать мощные чипы Intel Core i7, что означает экономию минимум на разницу в стоимости ЦП. Кроме того, специалисты «РТСофт» готовы прислушиваться к пожеланиям клиентов и осуществлять кастомизацию компьютеров BLOK в довольно широких пределах, обеспечивая для всех модификаций длительный многолетний жизненный цикл. Что касается продуктового семейства KBox, на него имеет смысл обратить внимание тем заказчикам, которым нужны готовые современные промышленные решения высочайшей надёжности от известного производителя, не требующие обслуживания в процессе эксплуатации и доступные для приобретения на протяжении многих лет после первоначальной поставки. Изделия серий BLOK и KBox нужны при создании разнообразных система отображения информации, автоматизированных рабочих мест, систем управления – везде, где необходимы высоконадёжные компактные и сверхкомпактные компьютеры, обладающие самой современной функциональностью, достойной производительностью и максимально длительным жизненным циклом.

Абхилаш Гопалакришнан (Abhilash Gopalakrishnan), Power Technologies
ABB Global Industries & Services Ltd.

Приложения SDN в промышленной автоматизации

Если рассматривать системы промышленной автоматизации в архитектурном контексте, то они состоят из трёх компонентов – информационных технологий, коммуникационных технологий и самого домена промышленной автоматизации. В данной статье автор анализирует изменения в области коммуникационных технологий, в частности в области программно-конфигурируемых сетей (Software Defined Networks – SDN), и пытается понять, как эти элементы могли бы использоваться в системах промышленной автоматизации с максимальной выгодой для конечных пользователей. В статье обсуждаются архитектурные изменения в коммуникационных компонентах, связанные с SDN, и предлагаются возможные приложения на базе общепринятых в промышленной автоматизации стандартов, таких как IEC 61850, OPC UA.

Введение

Учитывая тот факт, что во многих отраслях промышленности (фабрики, заводы, производственные предприятия, энергетика) стоит задача экономии энергии, многократно возрастает роль автоматизации. Если раньше на контрольно-измерительное оборудование и управление энергетическим предприятием тратилось лишь 5% инвестиций, а остальные 95% уходили на основные его компоненты (турбина, генератор, аппаратура для передачи и распределения электроэнергии, электронные аксессуары), то сейчас эти расходы стали весьма существенными. На рис. 1 показаны основные архитектурные компоненты систем промышленной автоматизации – домен собственно промышленной автоматизации, домен информационных технологий, домен коммуникационных технологий и их конвергенция. Как известно, в качестве нового этапа в эволюции энергетических систем рассматриваются интеллектуальные электросети (Smart Grid), а в обработке данных – облачные вычисления, поэтому важно рассмотреть эти технологии с точки зрения их основного компонента, который делает их по-настоящему эффективными. Речь идёт о коммуникациях.

Рис. 1. Компоненты системной архитектуры промышленной автоматизации

Развитие коммуникационных технологий шло по пути от патентованных (проприетарных) интерфейсов и протоколов к более открытым интерфейсам, таким как Ethernet, и домен-ориентированным коммуникационным стекам протоколов, подобным IEC 61850, OPC UA и DNP, которые основаны на стандартах промышленной автоматизации [5, 6].

Стандарты промышленной автоматизации направлены главным образом на то, чтобы мастер-протоколы и средства их обеспечения были отображены на множество протоколов уровня приложений, что подразумевает разделение коммуникаций и трактов защиты/управления как способа дальнейшего совершенствования систем промышленной автоматизации, как показано на рис. 2. Это даёт более широкие возможности и высокую скорость коммуникаций и сохраняет их применимость в промышленной автоматизации.

Рис. 2. Архитектуры IEC 61850 и OPC UA

Одно из существенных усовершенствований в коммуникационной архитектуре носит название программно-конфигурируемых сетей (Software Defined Networks – SDN), в которых управление сетью отделено от сетевой инфраструктуры. Такое разделение позволяет определять сетевые службы независимо от сетевых интерфейсов. В программно-конфигурируемых сетях используются определённые методы, с помощью которых подсистема управления (control plane) поддерживает связь с падсистемой данных (data plane). Одним из таких методов, применяемых в коммутаторах и маршрутизаторах, является технология OpenFlow. Несмотря на то, что этот протокол был первоначально разработан с расчётом на университетскую сеть, благодаря тому, что в новой архитектуре реализовано разделение тракта управления и интерфейсов, его можно использовать и в системах промышленной автоматизации. Для того чтобы лучше представить себе эти изменения, ознакомимся с существующими архитектурами сетевых коммутаторов.

Серийно выпускаемые сегодня коммутаторы Ethernet или сетевые коммутаторы (см. рис. 3) включают в себя подсистему управления, которая отвечает за маршрутизацию, и подсистему данных, которая отвечает за пересылку пакетов. Такая архитектура является закрытой, и весь процесс маршрутизации вы-

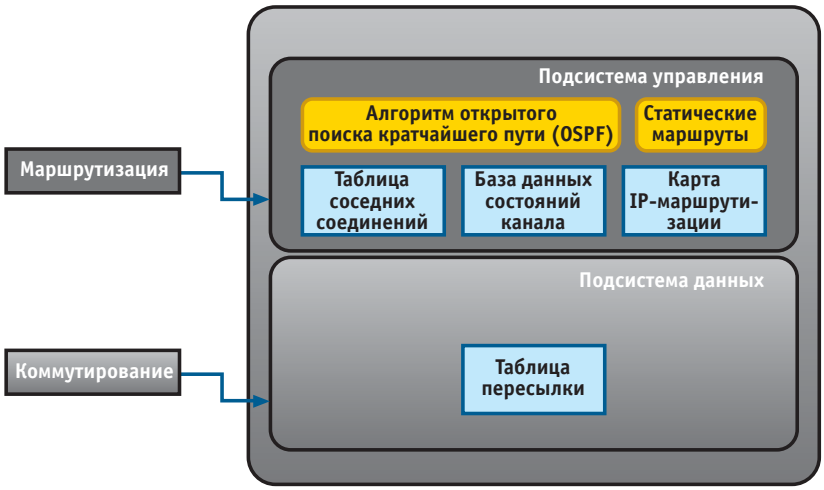


Рис. 3. Существующая архитектура сетевого коммутатора

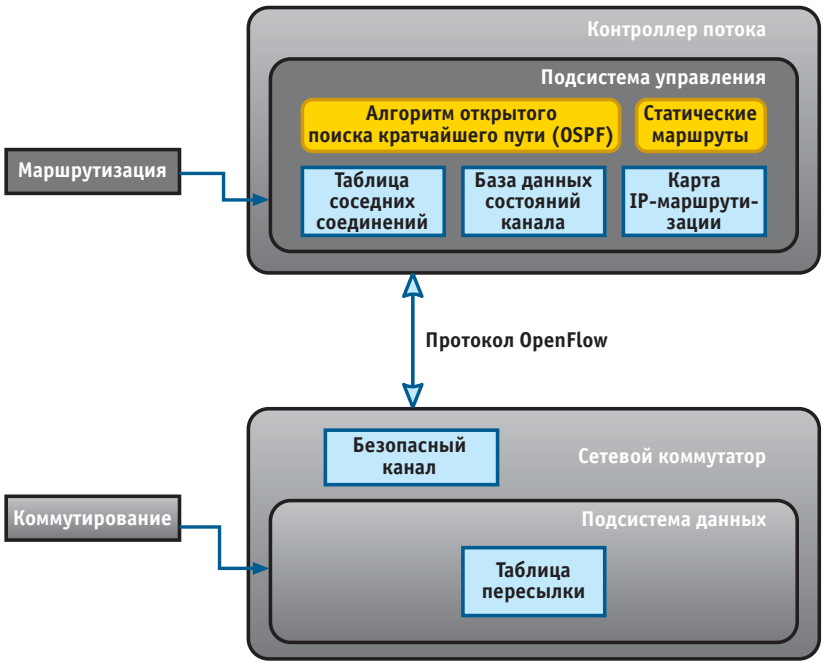


Рис. 4. Архитектура коммутации на базе протокола OpenFlow

полняется в соответствие с заложенной в коммутатор конфигурацией с использованием собственных алгоритмов производителя коммутатора.

В SDN, как показано на рис. 4, подсистема управления расположена дистанционно и осуществляет управление подсистемой данных. Это существенное нововведение в архитектуре.

Компоненты маршрутизации и подсистеаа управления расположены в узле контроллера потоков. Для установления связи в коммутаторе теперь предусмотрен безопасный канал, а для коммуникаций между коммутатором и контроллером используется протокол OpenFlow.

Коммутатор OpenFlow состоит как минимум из трёх частей: 1) таблицы потоков, которая содержит данные о действиях, связанных с каждым компонентом потока, для того чтобы сообщить коммутатору, каким образом обрабатывать соответствующий компонент потока, 2) безопасого канала, который соединяет коммутатор с удалённым процессором (который называют контроллером) и позволяет передавать команды и пакеты между контроллером и коммутатором, используя протокол OpenFlow (3). Таким образом, обеспечивается открытый и стандартный канал связи между контроллером и коммутатором.

А. Базовый механизм OpenFlow

Базовый механизм OpenFlow показан на рис. 5. Протокол OpenFlow работает по принципу конвейерной обработки, при котором коммутаторы могут быть двух видов: работающие исключительно в режиме протокола OpenFlow и работающие в гибридном режиме, когда предусмотрена поддержка обычного Ethernet. Использование гибридных коммутаторов позволяет получить дополнительные возможности.

Таблицы OpenFlow имеют три основных компонента: поля соответствия, которые нужны для идентификации, например VLAN ID; счётчики для сбора статистической информации, такой как принятые пакеты, соответствующие определённым полям; и команды, которые определяют действия, которые необходимо выполнить над пакетом, например переадресацию потока в виртуальный порт самого коммутатора. Может быть множество таблиц потоков, чтобы иметь возможность много раз обрабатывать соответствующие пакеты перед тем, как они передаются на выход.

Команды могут быть следующих типов: применить (Apply), очистить (Clear), записать (Write), записать метаданные (WriteMetedata), перейти к таблице (GotoTable) и др. Сообщения OpenFlow могут быть трёх типов: от контроллера к коммутатору, асинхронные и симметричные. Сообщения от контроллера к коммутатору включают в себя сообщения, используемые для идентификации функций, которые поддерживает коммутатор, конфигурирование, состояния модификации, состояния чтения, передачи пакета на выход и запроса барьеров. Асинхронные сообщения – для случаев поступления пакета на вход, удаления потока, синхронизации порта и ошибки. Симметричными сообщениями могут быть приветствия (Hello), эхо-сообщения (Echo) и тестовые сообщения.

Кроме таблиц потоков, в протоколе OpenFlow предусмотрены таблицы групп, которые обеспечивают более высокий уровень динамичности потоков и определяют наборы действий.

Как говорилось выше, OpenFlow обеспечивает целый ряд усовершенствований для коммуникационных сетей [3]:

а) управление потоками;
б) изолирование трафика;
в) поддержку политик защиты;
г) возможность построения приложений.

В. Управление потоками

Исполнение команд происходит по содержанию полей таблиц потоков. Команды могут включать в себя такие действия, как применение (Apply), очистка (Clear), запись метаданных (WriteMetadata), переход к таблице (GotoTable) и др. Действия могут включать в себя пересылку во все порты, инкапсулирование и пересылку пакета в контроллер, удаление (данных из памяти) или пересылку в порт. Путём задания и конфигурирования таблиц потоков, можно управлять маршрутом потока. Вместо пакетов мы управляем потоками.

С. Изолирование трафика

Изолирование трафика можно сделать безопасно путём контроля определённых полей на совпадение с полями потока источника, например путём установки поля «пункт назначения» в качестве поля совпадения, тем самым гарантируя раздельную обработку трафика. Одним из применений такого метода может быть разделение экспериментального/тестового трафика и производственного трафика.

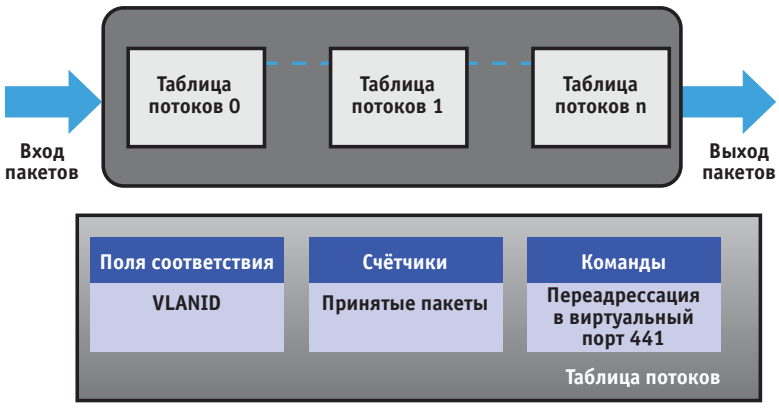


Рис. 5. Механизм работы протокола OpenFlow

D. Поддержка политик защиты

Изолирование трафика и механизм управления потоком, а также отбрасывания пакетов, обеспечивает возможность идентификации неопознанного доступа и тем самым применения к этому потоку определённых политик (методик) защиты.

E. Построение приложений

В виде счётчиков доступна статистика потоков и, кроме того, имеется возможность создавать наборы динамических действий и записи таблиц потоков. Используя эту информацию в качестве индикаторов надёжности и стабильности коммуникаций, мы можем выполнить сборку приложений. В частности, это могут быть приложения для управления сетевым трафиком.

D. Недостатки OpenFlow

У протокола Openflow есть и определённые недостатки. Тот факт, что в Openflow подсистема управления отдалена от подсистемы данных, означает ухудшение производительности. Кроме того, возможности современных коммутаторов по поддержки технологии OpenFlow ограниченны.

Проблемы систем промышленной автоматизации нового поколения

На международной конференции POWAT 2012 был отмечен ряд важных задач, которые промышленная автоматизация должна решить в текущем десятилетии [4].

A. Время вывода продукта на рынок

Более быстрый выход продукта на рынок даёт производителю лидирующее положение в отрасли. В отличие от отраслей, развитие которых зависит от потребительского спроса на их продукцию, рынок автоматизации обусловлен долгосрочными планами. Из-за этого их развитие всегда было достаточно медленным с точки зрения внедрения новых технологий. Однако сегодня сроки выхода на рынок таких систем постоянно сокращается. Поэтому время, потраченное на предварительные исследования, выработку концепции нового продукта, а также на саму разработку, испытания и приёмку должно быть значительно меньше, чем это было раньше, чтобы сохранить преимущества на рынке.

B. Эксплуатационная эффективность

Весьма важны ключевые показатели эффективности (KPI), такие как время запуска в производство, поскольку рентабельность инвестиций зависит от того, насколько быстро Вы сможете вести в эксплуатацию ваши разработки.

C. Моральный износ

После того как налаживается серийное производство, технологии и запасные части постепенно устаревают, что требует повторных вложений. Совместимость с предыдущими версиями продуктов – обязательное требование для таких систем.

D. «Бесшовная» интеграция

Наличие множества компонентов со специальными проприетарными интерфейсами и собственными методами коммуникаций приводит к сложности их интегрирования в более крупную систему.

Решение на базе программно–конфигурируемых сетей

Решение, которое учитывает требования современных телекоммуникационных стандартов и называется программно-конфигурируемыми сетями (Software Defined Networks – SDN) на базе технологии OpenFlow, уже реализовано сегодня в некоторых Ethernet-коммутаторах, которые используются в центрах обработки данных [1, 2].

Представленное на рис. 6 решение демонстрирует использование OpenFlow в системе промышленной автоматизации. Возможная реализация такой системы предполагает то, что контроллер потока находится на любом из устройств. Устройством в данном случае может быть компонент системы промышленной автоматизации, например контроллер, интеллектуальное электронное устройство, интеллектуальные порты ввода-вывода и даже датчики и человеко-машинный интерфейс (HMI) с ограниченными возможностями работы в режиме реального времени. При моделировании HMI/коммуникационных интерфейсов возможно также включение/моделирование коммутаторов OpenFlow.

A. Особенности OpenFlow в условиях промышленной автоматизации

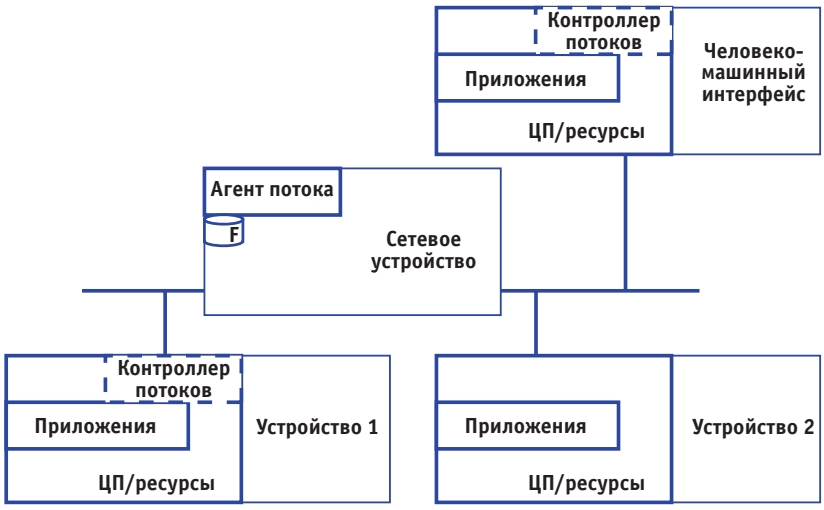


Рис. 6. Реализация SDN и OpenFlow в системе промышленной автоматизации

Применение технологии OpenFlow в коммуникационной системе обеспечивает ряд преимуществ.

1. Управление потоками

Для сетей промышленной автоматизации предпочтительнее иметь дело с потоками, чем с пакетами данных. Поток может быть связан с трафиком системы управления или передачей данных между приложениями. Поэтому в условиях системы промышленной автоматизации управление потоками более или менее позволяет повысить уровень контроля.

2. Изолирование трафика

Функционирование сетей автоматизации, которые являются более критичными с точки зрения обеспечения безопасности или решения ответственных задач, основано на назначении приоритетов. Поэтому так важно установление приоритетов трафика в условиях расширения производства и вновь вводимых мощностей.

3. Поддержка политик защиты

Политики защиты на уровне сети более всего полезны для заводских сетей, поскольку здесь Вы получаете особые роли и права, что обеспечивает ограниченный доступ на основе разделения на зоны.

4. Построение приложений

Кроме данных, используемых для принятия решений по маршрутизации, необходимо также учитывать определённые параметры, например состояние коммуникаций, что устанавливается стандартом IEC 61850 9-2. При этом использование счётчиков в OpenFlow обеспечивает простой доступ к потокам и, таким образом, позволяет создать более интегрированные алгоритмы с использованием потоков, а также логику.

B. Анализ концепции с использованием моделирования

Виртуальный коммутатор OpenFlow (OpenFlow vSwitch) или виртуальные сети могут быть смоделированы с помощью двух эмуляторов: OpenFlowVMS или Mininet [8, 9]. Оба эти метода основаны на платформе Linux. Точнее говоря, эмулятор Mininet использует платформу Ubuntu, а также пространство сетевых имен Linux для создания виртуальной сети и соединений внутри нее.

1. Управление потоками: VLAN и AppID и виртуальные перенаправления в IEC 61850

В системах стандарта IEC 61850, для того чтобы выявить какое-либо системное событие, например Trip, между интеллектуальными электронными устройствами передаются GOOSE-сообщения. С помощью инкапсулирования модели IEC 61850 в моделируемую систему, использующую OpenFlow, мы можем связать GOOSE-сообщения между собой, чтобы наладить связь между двумя виртуальными Ethernet-портами. Например, можно на основе OpenFlow определить поток, в котором установлены поля соответствия VLANID=4 и APPID=4, а затем установить сообщения, которые нужно перенаправлять во внутренний виртуальный Ethernet-порт, определяемый для OpenFlow. С помощью этого метода можно также соединить между собой OPC-элементы.

2. Построение приложений

Используя OpenFlow, мы можем легко идентифицировать пакеты в определённом потоке. Например, если мы сообщим, что в двухбайтовом поле EtherType установлено 0xBB, то есть это потоки пакетов IEC 61850 9-2, то можем получить пакеты, принятые в этом потоке от счётчика OpenFlow. Дискретные данные можно восстановить только на основе принятых потоков, и если потеряно больше определённого числа пакетов, то данные не могут быть достаточно надёжными с точки зрения принятия осмысленного решения по маршрутизации. Используя счётчики OpenFlow, мы можем легко получить эту информацию в пакетах, принятых из потока, и тем самым использовать эти данные при принятии решения.

Преимущества использования данного решения

a. Для некоторых сценариев использования систем промышленной автоматизации, которые в настоящее время невозможно промоделировать, с помощью программно-конфигурируемых средств [11], значительно упрощается процесс моделирования и проведения экспериментов, тем самым сокращая затраты.

b. Появляется возможность построения приложений на базе информационных данных, а также логики управления/автоматизации для создания более крупной и надёжной системы.

Заключение

В статье показано, что программно-конфигурируемые коммуникационные сети могут играть существенную роль в эволюции систем промышленной автоматизации. Управление потоками позволяет усовершенствовать моделирование сети и интегрировать её с программно-конфигурируемыми системами тестирования и контроля. Возможность интегрирования статистической информации, связанной с потоком, с системными событиями и принятием решения о маршрутизации, обеспечивает новую платформу для построения приложений. Следует выделить две важнейшие области, в которых можно увидеть непосредсвтенную выгоду от данного решения:

a) моделирование приложений и систем промышленной автоматизации,

b) возможность построения приложений, интегрирующих устойчивые коммуникационные данные и потоки событий системы промышленной автоматизации.

Источник: https://www.academia.edu/2472112/Application_of_Software_Defined_Networks_in_Industrial_Automation

Андрей Петрович Духвалов, «Лаборатория Касперского»

Актуальность обеспечения защиты АСУ ТП от информационных угроз

Основным показателем защищённости АСУ ТП является их способность поддерживать стабильность, непрерывность и корректное функционирование технологического процесса, будь то выработка и передача электричества, очистка воды, управление производством или что-то другое, независимо от внешних воздействий. Но в реальной жизни всегда существует масса факторов, из-за которых промышленные системы могут выйти из строя, особенно если им «помогают» киберпреступники. Сегодня в России нет организаций, которые занимались бы мониторингом ситуации с безопасностью АСУ ТП системно, это вне компетенции любого из существующих госорганов. Именно поэтому «Лаборатория Касперского» видит необходимость в создании Национальной российской тестовой лаборатории по исследованию проблем информационной безопасности критически важных объектов.

Необходимость информационной защиты автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) в настоящее время уже не подвергается сомнению со стороны ведущих мировых специалистов. Тем не менее всё ещё достаточно широко распространено мнение, что подобные системы не нуждаются в защите или изначально неплохо защищены. Кроме того, некоторые специалисты уверены, что имеющиеся сегодня средства защиты не могут быть использованы в индустриальной информационной среде.

Отчасти такие сомнения оправданны – существующие средства информационной защиты действительно необходимо применять в индустриальной среде с большой осмотрительностью, однако пренебрегать защитой ни в коем случае нельзя. Совершенно ясно, что в современных условиях информационные технологии могут быть использованы для негативного воздействия на индустриальные объекты, вплоть до нанесения значительного материального ущерба и даже до физического разрушения. Несколько таких случаев уже было зафиксировано.

Разумеется, подходы к информационной безопасности АСУ ТП существенно меняются по сравнению с «офисной» информационной средой или использованием информационных технологий в личных целях. Если для рядовых пользователей приоритетом является конфиденциальность информации, а целость и доступность данных имеют меньшую значимость, то в технологических системах управления приоритеты другие, и первостепенное значение здесь имеют как раз целостность и доступность данных, благодаря которым и обеспечивается непрерывность процесса управления.

Новая реальность

Нарушить стабильность функционирования производственной сети сегодня может не только отказ технологических узлов или ошибка оператора, но также ошибки в ПО, случайное заражение рабочих станций вредоносными программами или целенаправленные действия со стороны киберпреступников. А они в последние годы проявляют всё больший интерес к инфраструктурным и промышленным объектам.

Например, с 2010 года и по настоящее время продолжается кампания кибершпионажа, известная как Crouching Yeti или Energetic Bear. Более 2800 предприятий, значительная часть которых связана с энергетикой и машиностроением, уже пострадали от действий организаторов этой операции – предположительно похищена конфиденциальная информация, составлявшая коммерческую тайну. Большая часть предприятий-жертв находится в США и Испании, однако в их числе есть и некоторые российские объекты.

Другой пример: 2 января 2014 года системный администратор японской АЭС Monju обнаружил многократные удалённые подключения к одному из 8 компьютеров в центре управления реактором. Причиной

этого инцидента стала установка одним из сотрудников обновления бесплатного видеоплеера GOM Media Player. В результате инцидента злоумышленниками была украдена часть информации, в том числе конфиденциальной, хотя последствия исполнения злонамеренного программного кода в центре управления реактором могли бы быть куда более опасными.

Казалось бы, в этих условиях достаточно обеспечить сетевую изоляцию АСУ ТП. Но несостоятельность этой концепции продемонстрировал печально известный инцидент с Stuxnet: компьютерный червь размером в 500 Кбайт проник в изолированные сети через USB-накопитель и инфицированные SCADA-проекты, заражал программируемые логические контроллеры и физически вывел из строя центрифуги на ядерном объекте в Иране. Более того, потом этот червь «вырвался на свободу» и затронул ряд других критически важных объектов (КВО).

В конце 2014 года была также зафиксирована атака на одно из металлургических предприятий в Германии. При помощи фишинга и методов социальной инженерии, в частности посредством писем, содержавших вредоносные вложения, киберпреступники проникли во внутреннюю сеть предприятия и получили доступ к системам управления производством. Инцидент привёл к тому, что сталеплавильную печь невозможно было остановить в штатном режиме, что привело к значительным убыткам. Это второй случай после Stuxnet, когда проникновение вредоносного ПО в АСУ ТП закончилось для предприятия реальным физическим ущербом.

Однако АСУ ТП критически важных объектов угрожают не только целенаправленные атаки со стороны кибертеррористов. Специфика этих систем такова, что они вполне могут пострадать и от самых обычных, «офисных» вирусов. Однако в промышленных сетях обычное вредоносное ПО способно причинить несравнимо больший вред, чем при заражении офисного или домашнего компьютера – например заблокировать выполнение критически важных приложений, что приведёт к сбою в работе оборудования. Например, червь Conficker сумел заразить производственную сеть только потому, что в ней не было своевременно установлено обновление ОС Windows. Зловред посылал миллионы сетевых запросов, тем самым вызывая паралич производственной сети.

Даже средства автоматизированного проектирования могут использоваться для распространения вредоносного кода. Так, например, был зарегистрирован случай проникновения в производственную сеть вредоносной программы, написанной на языке AutoLisp (AutoCAD). Она внедрила вредоносный код в чертёж, открытие которого привело к массовому уничтожению данных.

Обеспечение непрерывности процесса управления АСУ ТП

Основным показателем защищённости АСУ ТП является их способность поддерживать стабильность, непрерывность и корректное функционирование технологического процесса, будь то выработка и передача электричества, очистка воды, управление производством или что-то другое, независимо от внешних воздействий. Но в реальной жизни всегда существует масса факторов, из-за которых промышленные системы могут выйти из строя, особенно если им «помогают» киберпреступники.

Наибольшему риску АСУ ТП сегодня подвергаются в первую очередь из-за устаревшего ПО, оборудования и коммуникационных протоколов, изначально не предполагавших даже самой возможности существования киберугроз. Проблема усугубляется ещё и тем, что для обновления этого ПО нужно преодолеть массу административных и технологических трудностей, и не каждая компания пойдёт на это.

Немало вопросов вызывает также информационное взаимодействие сети АСУ ТП с офисной сетью предприятия. Обычно АСУ ТП функционируют в изолированной сети, но нередки случаи, когда в ней создаются каналы обмена информацией с корпоративной сетью для обеспечения тех или иных производственных процессов. Часто к сети АСУ ТП имеют доступ сторонние, например сервисные, компании или компании – производители оборудования, что также чревато проблемами. Зачастую при этом владельцы промышленных объектов уверены в том, что их АСУ ТП изолирована, что не способствует принятию ими мер защиты и предотвращения вторжений.

Если говорить непосредственно о компонентах АСУ ТП, то уязвимыми элементами в них являются ПЛК, сетевое оборудование, промышленные сетевые протоколы общения, а также SCADA-системы. Контроллеры подвержены сетевым атакам вроде DoS/DDoS, часто содержат жёстко прошитую идентификационную информацию. Используемые сетевые протоколы часто не содержат мер аутентификации и/или шифрования. Что касается SCADA-систем, то как и обычные Windows приложения, они подвержены всем тем же уязвимостям, и это, безусловно, даёт злоумышленникам «простор для творчества». На данный момент только в открытых источниках указаны около 650 уязвимостей в SCADA-системах, и эта цифра продолжает расти.

В современных условиях информационные системы АСУ ТП должны как содержать защиту от «обычных» зловредов, так и располагать специальными средствами для противодействия целенаправленным атакам.

Текущие трудности

К сожалению, сегодня в России защиту промышленной инфраструктуры затрудняют как архитектурные, так и организационные и технологические факторы. Не способствует решению проблем и сложная бюрократическая процедура внесения изменений в работу промышленных и особенно критически важных промышленных объектов.

Как известно, российские АСУ ТП, однажды пройдя процедуру ввода в эксплуатацию, «опечатываются», и работают без обновлений многие годы. Строгие регламенты и нормативные акты не позволяют вносить в уже сертифицированную систему какие-либо изменения, даже в виде обновления операционной системы. Между тем, когда происходила приёмка системы, проверка встроенных свойств безопасности, скорее всего, не проводилась. Да и само понятие безопасности, как правило, до сих пор сводится к ограничению доступа пользователя по паролю, который, опять же, нередко хранится в открытом виде в базе данных самого приложения.

Вычислительное оборудование АСУ ТП тоже, как правило, вводится в эксплуатацию с уже устаревшими прошивками (внутренний исполняемый микрокод). Однако на сайте производителя всегда доступна свежая прошивка, в которой ряд известных проблем с информационной безопасностью уже закрыт, но их наличие никто не проверяет даже на этапе развёртывания системы – просто потому, что с администраторов этого никто не требует.

С другой стороны, автоматизацией технологических процессов обычно занимаются не сами предприятия-операторы, а сторонние фирмы-подрядчики. Они, в свою очередь, заинтересованы в реализации именно функциональной составляющей, не придавая особого значения информационной безопасности, поскольку её реализация – довольно трудозатратное занятие. Таким образом, предприятие получает только ту степень защиты от киберугроз, которая требуется действующим законодательством, ни о каких специальных настройках и проверках речь не идёт. В конце концов использующееся ПО «падает» или поддаётся несанкционированному управлению без особых проблем.

Помимо этого, существуют трудности с обнаружением киберугроз из-за отсутствия сетевого мониторинга, а также с необходимостью привлечения сторонних экспертов, в то время как предприятия не горят желанием сообщать об инцидентах. Наконец, проще переустановить, чем разбираться.

Защита возможна

Вопрос информационной безопасности критически важных объектов (КВО) в РФ давно назрел, и его следует решать комплексно. Государственные органы всерьёз озабочены разработкой регламентных документов. Так, сейчас проходит согласование в министерствах Проекта Федерального закона РФ «О безопасности критической информационной инфраструктуры РФ». ФСТЭК России выпустил «Приказ №31. Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах». Эта деятельность несомненно полезна, но в условиях 21-го века её недостаточно – регулирование в области IT/OT сегодня реактивно и явно отстаёт от быстро развивающихся технологий. Помимо регламентных документов, должны быть:

- выработаны методологии и практики для построения защищённой инфраструктуры КВО,
- выработаны единые критерии защищённости инфраструктуры КВО, которые должны оперативно дорабатываться и адаптироваться под изменения ландшафта угроз,
- разработаны методы стимулирования и юридической поддержки КВО, которые уже разрабатывают и применяют эффективные меры защиты,
- созданы образовательные программы для работников и управляющих КВО.

Надёжную защиту АСУ ТП можно обеспечить только при сотрудничестве государства, самих предприятий, проектных, научных организаций и производителей решений информационной безопасности.

Необходимо выработать методологии и практики для построения защищённой инфраструктуры критически важных объектов, прийти к соглашению по единым критериям защищённости промышленной инфраструктуры, которые должны оперативно дорабатываться и адаптироваться под изменения ландшафта угроз. Необходимо разработать методы стимулирования и юридической поддержки тех предприятий, которые уже применяют эффективные меры защиты, а также в обязательном порядке проводить образовательные программы для работников и управляющих АСУ ТП.

Государству также необходимо предпринимать и другие меры, например организовывать регулярные кибертеррористические тренировки, разработать и внедрить единую политику в области обеспечения и контроля поставок оборудования и ПО для АСУ ТП, создать единые стандарты по приёмке и сертификации АСУ ТП при вводе их в эксплуатацию, которые включали бы критерии информационной безопасности.

Сегодня в России нет организаций, которые занимались бы мониторингом ситуации с безопас-

ностью АСУ ТП системно, это вне компетенции любого из существующих госорганов. Именно поэтому «Лаборатория Касперского» видит необходимость в создании Национальной российской тестовой лаборатории по исследованию проблем информационной безопасности критически важных объектов. Такой единый центр мог бы на федеральном уровне исследовать как уже известные, так и перспективные подходы по организации защиты АСУ ТП, своевременно обнаруживать проблемы информационной безопасности в используемых программных и аппаратных средствах, вырабатывать рекомендации по их устранению, информировать соответствующие предприятия, рекомендовать к использованию протестированные программно-аппаратные средства, обладающие высокими показателями устойчивости к кибератакам, и т. д.

Наряду с этим для защиты IT-инфраструктур промышленных объектов нужны и принципиально новые методы, технологии и продукты. Многие производители решений информационной безопасности сейчас пытаются внедрять свои обычные, «офисные» продукты в АСУ ТП, однако такой подход может быть использован только в короткой перспективе. В промышленных системах есть своя специфика, и нужны продукты, её учитывающие. Именно поэтому «Лаборатория Касперского» сейчас работает над созданием ряда специальных решений, предназначенных для защиты АСУ ТП от самых разных киберугроз как на уровне сетевых узлов, так и на уровне защиты информационной сети в целом.

В основе разработок «Лаборатории Касперского» лежит безопасная операционная система, над созданием которой компания работает продолжительное время. Она не является заменой для существующих систем, таких как Windows, Linux, MAC OS, которые предназначены для рабочих станций и серверов. Защищённая ОС предназначена для устройств, для которых важно обеспечить высокий уровень информационной безопасности и надёжности, например для PLC-контроллеров, сетевого оборудования или узлов SCADA-систем.

Операционная система, созданная «Лабораторией Касперского», предоставляет программную среду, которая позволяет любому программному компоненту, будь то драйвер, сервис или приложение, выполнять только предварительно декларированную функциональность. Она обеспечивает такой контроль независимо от того, как реализован исполняющийся программный модуль, предоставляя возможность строить доверенные системы из недоверенных компонентов.

Передовые технологии «РТСофт» на Международном морском салоне

«РТСофт» представил на Международном морском салоне МВМС-2015, который проходил с 1 по 5 июля 2015 года в Санкт-Петербурге, широкий спектр своих продуктов и решений для системных интеграторов и предприятий судостроения и других отраслей промышленности.

Отвечая программам модернизации флота, «РТСофт» показал передовые компоненты, технологии и услуги инженерно-конструкторского комплекса компании для разработчиков морских интегрированных систем.

Российские предприятия сегодня остро заинтересованы в создании **экономически эффективных информационно-управляющих систем на базе отечественных компонентов**. Для решения этой задачи «РТСофт» предложил широкий спектр аппаратных и программных продуктов, платформенных решений и сервисов собственной разработки для всех уровней бортовых и стационарных систем. Построенные на основе лучших мировых технологий и инженерного потенциала компании, они позволят заказчикам создавать отечественную конкурентоспособную продукцию международного уровня.

«РТСофт» вышел на Международный морской салон с **большим количеством прототипов и новейших разработок**, которые компания создала за короткий период времени и предлагает к использованию уже в этом году. Среди них модуль контроля технических средств, универсальная вычислительная платформа, а также ряд перспективных программных разработок: ПО «РТС-Кластер» для создания резервированных серверов, ПО «Монтрек» для повсеместного мониторинга подвижных объектов и ПО «ПЛАТИНУМ-РТ» для создания информационно-управляющих систем.

На стенде «РТСофт» были представлены **базовые встраиваемые аппаратные платформы** собственного производства для создания информационно-управляющих систем различного назначения. Повышенный интерес посетителей вызвали флагманские

(продолжение на стр. 37)

Ю. Я. Моцкин, ЗАО «РТСофт», М. М. Соколов, П.П. Хвостенко, НИЦ «Курчатовский институт»

Информационно–управляющая система экспериментальной термоядерной установки «Токамак Т–15»

В статье рассматривается архитектура информационно-управляющей системы экспериментальной термоядерной установки «Токамак Т-15».

Введение

Настоящая статья ставит своей целью дать представление об архитектуре информационно-управляющей системы экспериментальной термоядерной установки «Токамак Т-15». Эта установка относится к классу больших физических установок (big physics), и разработка эффективной системы управления для неё представляет весьма непростую задачу.

Как известно, «Токамак» – один из наиболее значимых проектов современной ядерной физики. Конечная цель этого проекта – создание управляемого источника энергии, основанного на принципах термоядерного синтеза.

Идея «токамака» (Тороидальная КАмера с МАгнитными Катушками) как средства удержания магнитным полем высокотемпературной плазмы, в которой протекает управляемая термоядерная реакция, была предложена в пятидесятые годы 20 века. С тех пор во многих странах мира, в том числе и в первую очередь в СССР – России, ведутся исследования в этом направлении, создаются экспериментальные установки [1].

В результате в этой области накоплен значительный опыт. И в настоящее время в рамках международного проекта ITER (ИТЭР) строится экспериментальный токамак – реактор.

К сожалению, сейчас в России действуют только установки небольшой мощности – Т-10 в НИЦ «Курчатовский институт» в Москве, Т-11М в «Троицком институте инновационных и термоядерных исследований» и сферический токамак «Глобус» в Физико-техническом институте имени Иоффе в Санкт-Петербурге. При этом токамак Т-10 был запущен в эксплуатацию ещё в 1975 году.

В 80-90-е годы в НИЦ «Курчатовский институт» была построена значительно более крупная установка – токамак Т-15. Был выполнен физический пуск установки. Однако работы по её введению в эксплуатацию не были доведены до конца. Со времени физического пуска установки Т-15 в 1988 г. многие технологические и инженерные системы выработали свой ресурс. В связи с этим требуется их техническое перевооружение [2].

В 2009 году было принято решение о выполнении работ по модернизации установки Т-15 (Федеральная целевая программа «ЯЭТНП 2010–2020 гг.»).

Цель проекта по модернизации формулируется следующим образом:

«Модернизация экспериментальной термоядерной установки Т-15 предусматривает сооружение дивертора в разрядной камере токамака Т-15, создание новой системы формирования и управления вытянутой конфигурацией плазмы и комплекса дополнительного нагрева плазмы мощностью 20 МВт и поддержания тока плазмы до 1 МА.

Предлагаемое изменение магнитной системы установки Т-15 и проведение экспериментальных исследований плазмы с вытянутой конфигурацией – одни из основных задач дальнейшего развития исследований на установках типа токамак в России. Модернизация установки Т-15 и проведение исследований на ней – первый шаг на пути создания

термоядерного источника нейтронов (ТИН), необходимого для наработки топлива для нужд атомной энергетики» [3].

Информационно–управляющая система модернизированной установки «Токамак Т–15»

Установка Т-1 – это целый комплекс взаимодействующих между собой технологических и инженерных систем.

Выполнение эксперимента на установке обеспечивается набором автоматизированных и автоматических процедур, включающих:
- планирование эксперимента,
- подготовку эксперимента,
- выполнение эксперимента,
- сбор и обработку (комплексный анализ) результатов эксперимента.

Перечисленные задачи и призвана решать создаваемая для установки информационно-управляющая система (ИУС Т-15).

Следует отметить, что, в рамках модернизации, ИУС Т-15 создаётся практически с нуля.

Руководителем проекта и системным интегратором системы определено ЗАО «РТСофт».

Специфика системы ИУС Т-15 такова, что для её реализации в полном объёме потребовалось привлечь коллективы профильных специалистов из различных крупных исследовательских и проектных центров России. Среди них:
- НИЦ «Курчатовский институт» (руководитель проекта установки Т-15 и Заказчик ИУС Т-15),
- НИИЭФА им. Ефремова (электромагнитная система установки),
- ИЯФ им. Буткера СОРАН (система инжекционного нагрева плазмы),
- ФТИ им. Иоффе (система нагрева плазмы на нижнегибридном резонансе),
- ГНЦ ТРИНИТИ (модель и регуляторы системы управления плазмой).

Очевидно, что выполнение столь сложной работы с большим количеством участников требует от ЗАО «РТСофт» значительных не только инженерно-технических, но и организационных усилий.

В связи с тем, что ИУС Т-15 – это интегрированная система, разработку отдельных частей которой выполняют разные предприятия-исполнители, требуется сформулировать базовые проектные решения, распространяющиеся на всю систему.

Общесистемные решения должны обеспечивать такое распределение функциональности в интегрированной ИУС Т-15, которое бы исключило необоснованную избыточность программно-технических средств.

Необходимо разрабатывать требования со стороны системы верхнего уровня и других общесистемных компонентов к отдельным подсистемам АСУ и локальным системам контроля и управления.

Необходимо придерживаться единой технической политики, единых интерфейсов обмена данными, совместимых технических, конструктивных и программных решений.

Требуется обеспечить как можно большую унификацию используемых в различных подсистемах программно-технических средств.

Необходим согласованный подход для классификации и кодирования информации многоуровневой ИУС Т-15.

К настоящему времени выполнено рабочее проектирование ИУС Т-15, выполнены поставки и произведена сборка и монтаж оборудования, выполнена разработка программного обеспечения, а также проведены автономные испытания для значительной части систем, входящих в ИУС Т-15.

Цель работ – обеспечить готовность ИУС Т-15 в объёме, необходимом для физического пуска к началу 2017 года.

Архитектура ИУС Т–15

При работе над проектом ИУС Т-15 «РТСофт» изучил имеющийся опыт создания CODAC ITER – центральной системы управления, ответственной за работу экспериментального токамака в рамках международного проекта ITER. Реализация проекта ITER запланирована позже физического пуска Т-15, поэтому на использование готовых решений CODAC ITER в ИУС Т-15 рассчитывать не приходится, но методологический подход в организации и делении систем, а также ориентация на оборудование компании National Instruments были использованы. Пригодился опыт участия ЗАО «РТСофт» в проекте ITER в части разработки системы автоматизации и ПАЗ системы СВЧ-нагрева для установки ITER.

ИУС Т-15 строится как распределённая многоуровневая система.

Входящие в неё подсистемы группируются по функциональным признакам.

Взаимодействие между подсистемами осуществляется комплексом специализированных информационных сетей.

Принятая архитектура ИУС Т-15 включает следующие функциональные группы подсистем:
- системы управления экспериментом,
- системы обеспечения эксперимента,
- информационно-измерительный комплекс,
- центральная система управления.

Архитектура ИУС Т-15 представлена на рис. 1.

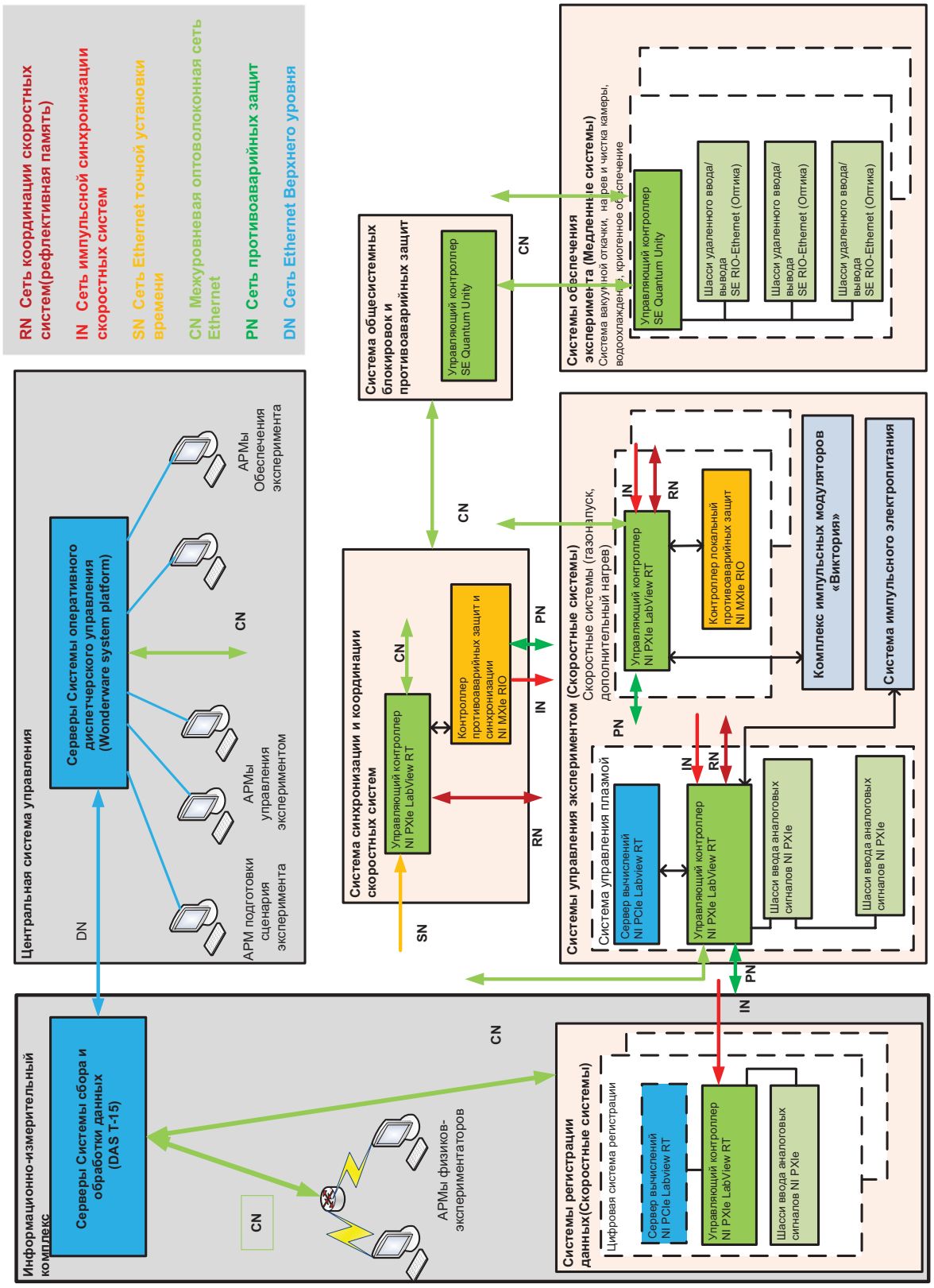


Рис. 1. Архитектура ИУС Т-15

Системы управления экспериментом (скоростные системы)

Системы управления экспериментом обеспечивают управление установкой в процессе выполнения собственно эксперимента по формированию и удержанию плазмы с заданными параметрами.

В состав ИУС Т-15 входят следующие системы управления экспериментом:

– система управления плазмой (СУП) с автоматизированной системой управления импульсным электропитанием (АСУ СИЭП);
– системы технологического и оперативного газонапуска;
– системы дополнительного нагрева плазмы (АСУ СВЧ-нагрева, АСУ инжекционного нагрева, АСУ ионно-циклотронного нагрева, АСУ нагрева на нижнегибридном резонансе) с автоматизированной системой управления комплексом импульсных модуляторов «Виктория».

Синхронизацию и координацию работы систем управления экспериментом, а также реализацию межсистемных противоаварийных защит для них выполняет система координации и синхронизации скоростных систем (СКСС).

Объёмно-временные характеристики для систем управления экспериментом ИУС Т-15 следующие:

1. Требования к временным характеристикам:

– точность синхронизации запуска компонентов ИУС Т15 – 1 мкс;
– допустимая задержка сигнала запуска системы относительно события в плазме – 100 мкс;
– цикл управления системой оперативного газонапуска – от 1 до 3 мс;
– общий цикл управления системой управления плазмой и системой импульсного электропитания – 3 мс (медленный контур до 200 сигналов) и 0,1 мс (быстрый контур от 3 до 14 сигналов);
– детектирование и обработка аварийных ситуаций внутри систем – 10 мкс;
– обработка аварийных ситуаций между системами (определили в одной, обработали в другой) – 100 мкс.

2. Суммарный объём данных – ~ 8000 сигналов.

Очевидно, что к системам предъявляются чрезвычайно жёсткие требования по скорости сбора, обработки и передачи данных, по временным задержкам сигналов (латентность). Должна также обеспечиваться достаточная номенклатура средств управления, сбора данных, синхронизации и т. д.

С учётом всего вышесказанного для построения систем управления экспериментом используются программно-аппаратные средства фирмы National Instuments [4].

Базовые аппаратные средства – контроллеры на базе шасси PXIe, PCIe, MXI Express.

Базовая операционная система для них – LabView RT. Среда программирования – LabView.

Однако для решения ряда задач в состав инструментальных средств программирования для этих систем требуется включать дополнительные компоненты.

Такие компоненты необходимы для программирования системы управления плазмой в токамаке:

– сложных регуляторов (например, матричный и адаптивный регуляторы),
– встраиваемых в систему моделей (SIL–модель).

Программы в этом случае разрабатывают не программисты LabView, а специалисты-физики.

Как правило, такие программы пишутся на языке Matlab – Simulink и требуется обеспечить конвертацию такой программы в проект LabView.

Нами задача портирования кода из Simulink в LabView-RT решена с использованием технологии, предлагаемой National Instruments.

Системы обеспечения эксперимента (медленные системы)

Системы обеспечения эксперимента осуществляют подготовку установки к выполнению эксперимента, а также отвечают за поддержание некоторых параметров (например, вакуума) в процессе выполнения эксперимента.

Таким образом, системы обеспечения эксперимента функционируют как во время подготовки эксперимента, так и в процессе эксперимента.

В состав ИУС Т-15 входят следующие системы обеспечения эксперимента:

– система вакуумной откачки,
– система обезгаживающего прогрева патрубков системы охлаждения и камеры,
– система чистки камеры тлеющим разрядом,
– система водяного охлаждения,
– система криогенного обеспечения.

Задачу межсистемных противоаварийных защит и блокировок для этих систем выполняет «Система общесистемных блокировок и противоаварийных защит».

К этим системам предъявляются следующие требования:

1. Суммарный объём данных – ~ 6500 сигналов.

2. Требование к временным характеристикам:

– цикл обработки данных – от 20 до50 мс;
– время обработки аварийных ситуаций между технологическими подсистемами – не хуже 50 мс.

Требования к временным характеристикам у этих систем менее жёсткие, чем у скоростных.

По своему назначению такие системы должны строиться, как традиционные системы управления технологическими процессами (АСУТП).

Для построения этих систем используются программно-аппаратные средства фирмы Schneider Electric [5].

Базовые аппаратные средства – контроллеры Quantum (горячее резервирование).

Базовая система исполнения и среда программирования для них – Unity.

Информационно–измерительный комплекс

Информационно-измерительный комплекс включает в себя:

– систему регистрации данных эксперимента,
– систему сбора и обработки данных.

Системы регистрации данных эксперимента обеспечивают:

– сбор данных от оборудования диагностик плазмы,
– обработку и агрегатирование данных,
– запись данных в систему сбора и обработки данных для дальнейшего комплексного анализа.

Диагностики плазмы – измерительные комплексы, использующие специальные физические методы.

К системам регистрации данных предъявляются следующие требования:

– кондиционирование сигналов (входит в состав диагностик): для различных диагностик диапазон ±0,1–10 В и ±500–510 В, гальваническая развязка до ±1500 В, наличие программируемых фильтров и усилителей;
– синхронизация запуска систем регистрации отдельных диагностик не хуже 1 мкс;
– межканальная синхронизация внутри отдельных диагностик не хуже 0,05 мкс;
– объём регистрируемой информации – до 94 Гбайт за импульс (эксперимент), длительностью до 30 с;
– доступность данных для комплексного анализа не позднее чем через 300 с.

Системы регистрации данных эксперимента в ИУС Т-15, как и системы управления экспериментом, строятся на программно-аппаратных средствах фирмы National Instuments.

Система сбора и обработки данных – ССОД Т-15 – предназначена для сбора, хранения, обработки и визуализации экспериментальных данных диагностического комплекса установки токамак Т-15. Источниками экспериментальных данных являются цифровые системы регистрации (ЦСР), расчётные коды и программы специализированной обработки экспериментальных данных.

В Состав ССОД Т-15 входят сервер БД и сервер приложений, а также специализированного ПО для работы с экспериментальными данными диагностического комплекса Т-15 на этапах регистрации, сбора, хранения, удалённого доступа, специализированной математической обработки и визуализации (включая АРМы ведущего экспериментатора и физиков-экспериментаторов).

Диагностический комплекс Т-15 включает в себя несколько десятков уникальных физических диагностик, работающих в процессе рабочего импульса. Собственно, собранные ССОД экспериментальные данные и есть цель проводимых экспериментов. К особенностям ССОД Т-15 следует отнести высокие требования к производительности системы, связанные с большими объёмами измеряемой в ЦСР информации, а также требования к унификации данных при идентификации, хранении, обработке и визуализации разнотипных данных от различных физических диагностик токамака.

Представление о масштабах диагностического комплекса Т-15 даёт рис. 2.

Центральная система управления

Центральная система управления (ЦСУ) обеспечивает реализацию оперативно-диспетчерского управления в рамках планирования, подготовки и проведения эксперимента.

ЦСУ строится на основе центра обработки данных ИУС Т-15 и включает:

– Выделенные серверы центра обработки данных.
– Специализированные автоматизированные рабочие места (АРМы):
  – АРМ ведущего экспериментатора,
  – АРМ начальника смены установки,
  – АРМ оператора технологических систем (системы подготовки эксперимента),
  – АРМ оператора электропитания установки.
– Хранилище данных.

В состав системы оперативно-диспетчерского управления входят следующие функциональные модули:

– модуль планирования эксперимента (МПЭ),
– модуль контроля и управления (МКУ).

МПЭ обеспечивает формирование данных на этапе подготовки и планирования эксперимента. МКУ отвечает за контроль состояния технологических процессов и отслеживание отклонений в работе оборудования.

МПЭ построен на основе клиент-серверной технологии и имеет БД для хранения базовых сценариев. Доступ к функциям приложения осуществляется по WEB-интерфейсу. МПЭ осуществляет взаимодействие с АРМ ПСЭ посредством файлового обмена и с базы данных DASSQL посредством SQL-запросов.

МКУ построен на основе инструментальной платформы PLATINUM-RT [6], обеспечивающей сбор и обработку данных в режиме реального времени. Для хранения архива технологических данных используется специализированная база данных Historian. Взаимодействие МКУ с внешними системами производится по промышленному протоколу ModbusTCP на основе согласованного перечня параметров.

В состав ЦСУ входит АРМ подготовки сценария эксперимента (АРМ ПСЭ).

АРМ ПСЭ обеспечивает разработку на основе задания на эксперимент базового сценария эксперимента [7].

Базовый сценарий включает:

– расчёт циклограммы эксперимента,
– расчёт параметров регуляторов системы управления плазмой,
– расчёт параметров регуляторов системы импульсного электропитания,
– расчёт программы заведения токов в катушки полоидальной магнитной системы на всех стадиях эксперимента,
– расчёт программы газонапуска для управления плотностью плазмы,
– расчёт программы дополнительного нагрева.

Расчёт компонентов базового сценария выполняется с использованием инструментальных средств Matlab – Simulink.

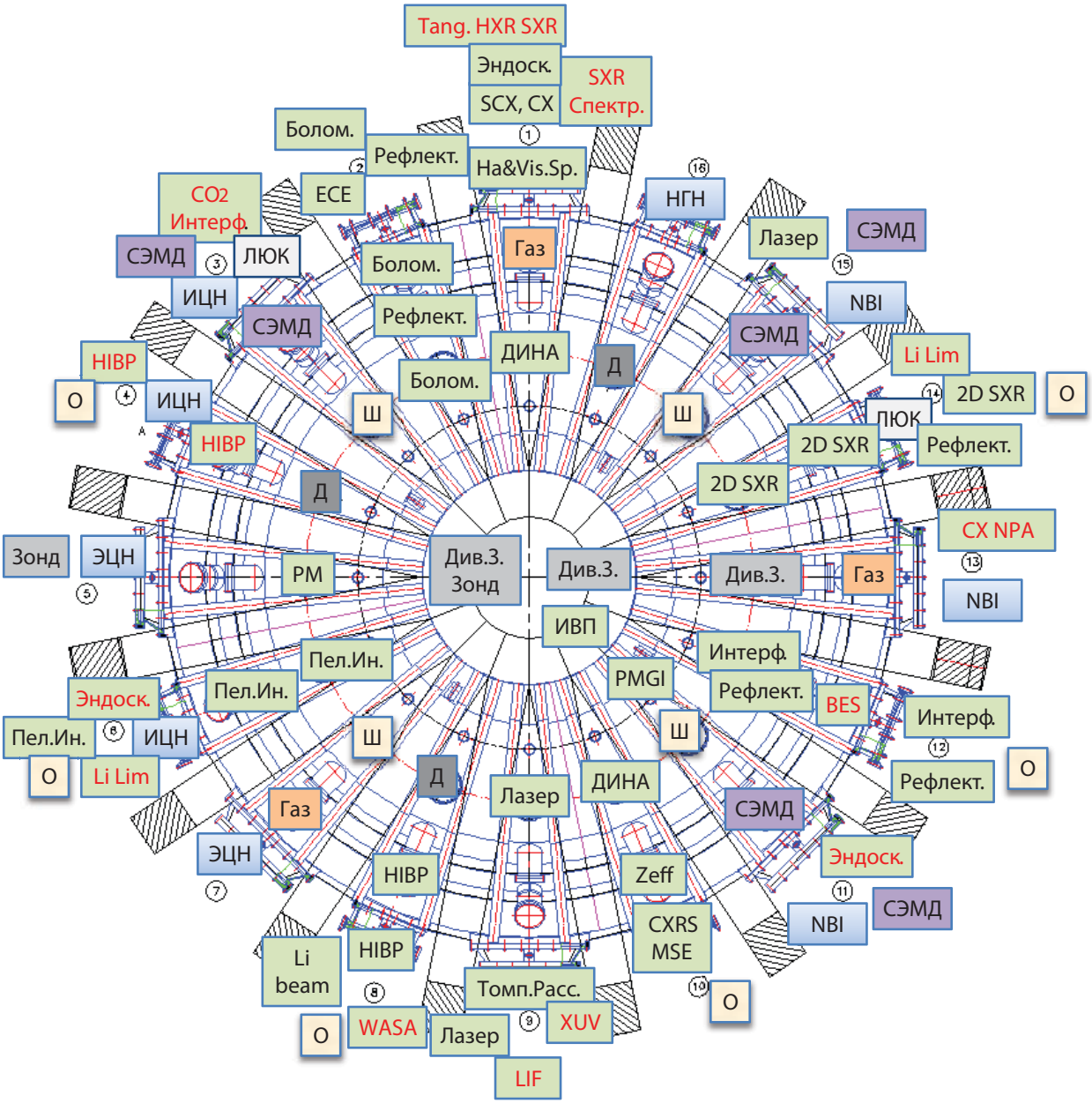


Рис. 2. Размещение основных диагностик и технологических систем

Графическое представление сценария развития разряда приведено на рис. 3

Готовый базовый сценарий помещается в базу данных сценариев хранилища ЦСУ.

Информационные сети ИУС Т–15

Для обеспечения функционирования ИУС Т-15 в её составе разворачивается комплекс информационных сетей различного функционального назначения (рис. 1):

1. Межуровневая оптоволоконная сеть Ethernet, предназначенная для обеспечения обмена данными всех подсистем ИУС Т-15. Скорость передачи данных – от 1 до 10 Гбит/с. Сегментом этой сети является сеть Ethernet верхнего уровня.

2. Сеть координации скоростных систем на основе средств рефлективной памяти. Оптоволоконная сеть. Скорость передачи данных – от 1 до 10 Гбит/с. Латентность 450–500 нс.

3. Оптоволоконная сеть импульсной синхронизации скоростных систем, обеспечивающая выдачу стартовых импульсов по важнейшим событиям эксперимента (старт эксперимента, начало выполнения замера ИИК). Точность синхронизации порядка 1 мкс.

4. Оптоволоконная сеть Ethernet точной установки времени, обеспечивающая передачу абонентам точного астрономического времени по протоколу PTP (IEEE 1588-2008). Точность установки до 50 нс. Источник точного времени – сервер установки точного времени, оборудованный антенной GPS/GLONASS.

5. Оптоволоконная сеть противоаварийных защит, обеспечивающая реализацию противоаварийных защит для систем управления экспериментом.

Технология выполнения эксперимента под управлением ИУС Т–15

ИУС Т-15 обеспечивает поддержку автоматизированной процедуры полного цикла выполнения эксперимента.

Технологическая процедура ИУС Т-15 представлена на рис. 4.

Процедура включает последовательность шагов по подготовке эксперимента и разделяется на три фазы:

1. Планирование и подготовка эксперимента.
2. Исполнение эксперимента.
3. Анализ результатов эксперимента.

На этапе планирования и подготовки эксперимента выполняются следующие действия:

1.1. С использованием АРМ ПСЭ производится разработка базовых сценариев для планируемых экспериментов. Готовые базовые сценарии размещаются в базе сценариев.

1.2. Одновременно производится подготовка установки к выполнению планируемых экспериментов. Эта подготовка осуществляется с использованием средств систем обеспечения эксперимента и центральной системы управления (АРМ оператора технологических систем).

На этапе исполнения эксперимента выполняются последовательно следующие шаги:

2.1. Осуществляется выбор и редактирование базового сценария и формирование на его основе сценария исполнения эксперимента (ЦСУ, АРМ ведущего экспериментатора, АРМ начальника смены).

2.2. Выполняется загрузка компонентов сценария в системы управления экспериментом (ЦСУ). Одновременно осуществляется сборка схемы системы электропитания установки и параметризация АСУ электропитания (ЦСУ, АРМ оператора систем электропитания). В процессе выполнения этого шага выполняется автоматический контроль готовности систем к выполнению эксперимента.

2.3. Затем по команде из АРМ начальника смены выполняется «Старт эксперимента» и запускается автоматическая процедура его исполнения. Синхронизацию и координацию работы систем управления экспери-

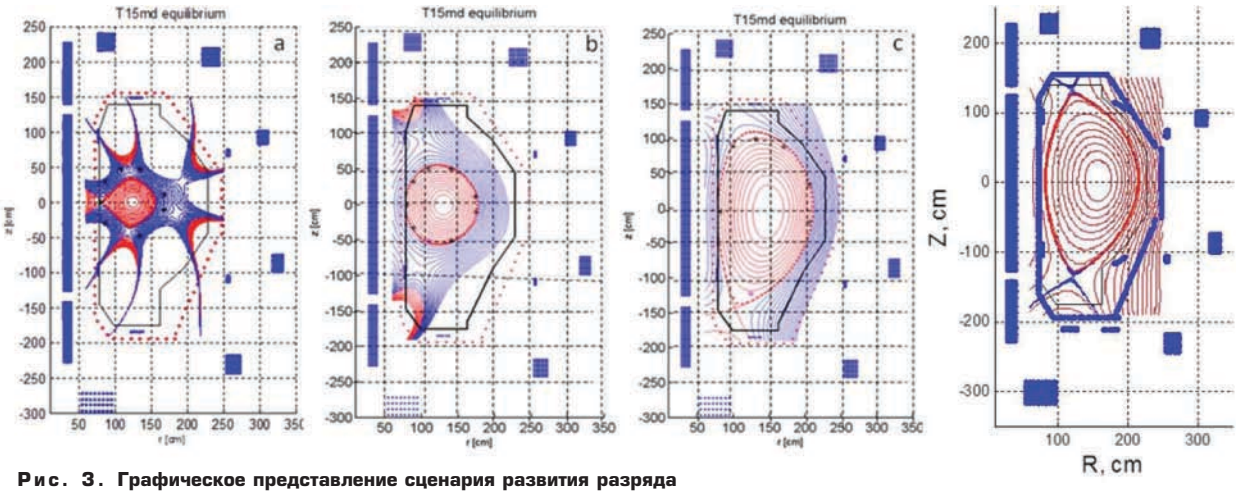


Рис. 3. Графическое представление сценария развития разряда

ментом и систем регистрации данных осуществляет система СКСС.

Системы регистрации данных аккумулируют данные, получаемые от диагностик установки.

Системы обеспечения эксперимента при этом функционируют в режиме поддержания заданных параметров.

2.4. Непосредственно перед стартом эксперимента и между экспериментами (рабочими импульсами токамака) может быть выполнена процедура «Моделирование эксперимента» с использованием встроенных в системы управления моделей (режим SIL). Цель процедуры – тестирование компонентов сценария, в том числе параметров регуляторов системы управления плазмой.

В случае если результаты проверки окажутся неудовлетворительными, возможен возврат к предыдущим шагам.

2.5. Завершение исполнения эксперимента осуществляется:

– в соответствии с циклограммой эксперимента (плановый останов),
– при возникновении аварийной ситуации (аварийный останов),
– по команде из ЦСУ.

На этапе анализа результатов эксперимента «Система сбора и обработки данных» осуществляет сбор данных от систем регистрации данных, их обработку и размещение в базе данных экспериментов.

Заключение

Реализация ИУС Т-15 – сложный проект в технологическом и организационном плане. Одновременно это очень интересная и ответственная работа, в результате которой, наряду с действующим аппаратно-программным комплексом ИУС Т-15, появляется опыт реализации крупных (подобных ITER) проектов автоматизации научных исследований, в которых объединяются ведущие Российские научные и производственные центры.

ИУС Т-15 может рассматриваться как один из конечных продуктов в исследованиях, направленных на создание промышленного термоядерного реактора.

Отдельные подсистемы ИУС Т-15, такие как:

– СКСС, АСУ СВЧ-нагрева, АСУ инжекционного нагрева, СУП, АСУ СИЭП,
– система планирования эксперимента,
– синхронные многоканальные цифровые системы регистрации диагностической информации с унифицированным форматом экспериментальных данных, – могут быть унифицированы и использованы в разработках ИУС перспективных установок управления термоядерным синтезом:
– демонстрационной термоядерной электростанции ДЕМО,
– термоядерного источника нейтронов ТИН,
– исследовательского термоядерного реактора ИГНИТОР.

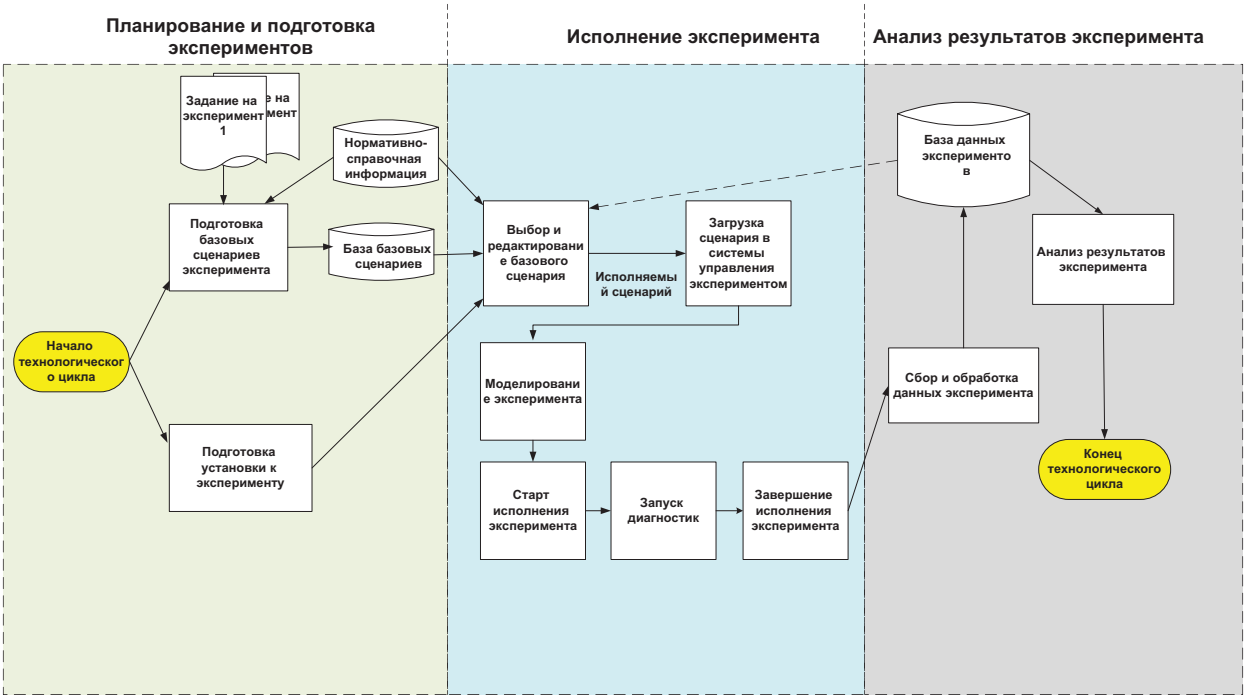


Рис. 4. Технологическая процедура ИУС Т–15

Ссылки

1. Э. А. Азизов. Токамаки от А. Д. Сахорова до наших дней (60 лет токамакам). Успехи физических наук. 2012. Том 182. № 2.
2. В. А. Альхимович, Е. П. Велихов, М. М. Соколов, П. П. Хвостенко, и др. Инженерно-физическое обоснование реконструкции ТОКАМАКА Т-15. Вопросы атомной науки и техники. Серия Термоядерный синтез, 2008, №03.
3. Е. П. Велихов, М. В. Ковальчук, Э. А. Азизов и др. Гибридный термоядерный реактор для производства ядерного горючего с минимальным радиоактивным загрязнением топливного цикла. Вопросы атомной науки и техники. Серия Термоядерный синтез, 2014, №04.
4. Технологии National Instruments для стендовых испытаний. Брошюра. National Instruments, ni.com/russia.
5. Программируемые логические контроллеры Modicon Quantum. Брошюра. Shcneider Electric.
6. А. Н. Ханыгин, С. В. Кирюхин (ЗАО «РТСофт»). Отечественная инструментальная платформа для разработки информационно-управляющих систем «PLATINUM-RT». Автоматизация & IT в энергетике. 2015, №01.
7. В. Н. Докука, А. А. Кавин, В. Э. Лукаш, М. М. Соколов, Р. Р. Хайрутдинов, В. А. Хайрутдинова. Численное моделирование управления плазмой в модернизированном токамаке Т-15. Вопросы атомной науки и техники. Серия Термоядерный синтез, 2014, №03.

Передовые технологии «РТСофт» на Международном морском салоне

(Продолжение. Начало на стр. 28)

разработки компании: **мультимедийные мониторы** GT777, разработанные и произведённые на основе новейших достижений в области технологий мультимедийных цифровых интерфейсов, промышленных TFT-матриц, систем питания, производства высокоточных 3D-корпусов, и **бесшумные промышленные компьютеры** BLOK **высокой надёжности для эргономичных систем с длительным жизненным циклом в формате BoxPC**. Наряду с ними были показаны и другие продукты «РТСофт»: панельный компьютер RTKon для ответственных приложений, **промышленный безвентиляторный компьютер Kena**, а также решения COM Express и CompactPCI.

В рамках выставки ведущие эксперты компании провели на стенде «РТСофт» **серию мастер-классов по изучению инструментальной программной платформы для построения интегрированных корабельных систем управления «ПЛАТИНУМ-РТ»**. Мастер-классы посетили технические специалисты предприятий судостроения и системных интеграторов. Они ознакомились с возможностями инструментальной платформы и лично приняли участие в создании компонентов КСУТС корабля. Участники высоко оценили комплексный объектно-ориентированный подход к построению специализированных приложений для диспетчерского управления корабельными системами.

С успехом прошла **презентация ещё одной новой разработки компании – универсальной вычислительной платформы (УВП) для создания информационно-управляющих систем ответственных применений при жёстких условиях эксплуатации**. УВП имеет широкие перспективы к применению и в сфере безопасности, и в индустриальных системах, требующих максимальной производительности в полевых условиях. К тому же она может использоваться в виде базовых аппаратно-программных компонентов как бортовых, так и стационарных информационно-управляющих систем ответственных применений.

Новейшие и во многом уникальные программные разработки «РТСофт» были наглядно показаны с помощью демонстрационных систем. В частности, программное обеспечение «РТС-Кластер» для создания резервированных серверов и отказоустойчивых вычислительных узлов на экране успешно решало задачу распознавания надводных судов в акватории. А диспетчерское приложение программного комплекса «Монтрек», предназначенного для повсеместного мониторинга подвижных объектов с использованием спутникового и сотового каналов связи, демонстрировалось на мониторе GT777. В качестве демоверсии бортового приложения «Монтрек» на панельном компьютере RTKon была установлена программа речной навигации, работающая с морской картой формата S-57.

Значительный интерес представителей предприятий судостроения и других отраслей промышленности вызвали **возможности инженерно-конструкторского комплекса «РТСофт»**, реализующего полный цикл создания новых отечественных продуктов. Инженерный центр разработки электронной аппаратуры «РТСофт» специализируется на

(Окончание на стр. 45)

С. Н. Пастухов, А. В. Малов, Е. Э. Страшнин, А. С. Стаймов, А. А. Прилуков,
Уральский филиал «УралРТСофт» ЗАО «РТСофт»

Инструментальная платформа для создания эффективного производства

Программный комплекс «Эталон» – решение для повышения энергоэффективности и стабильности производственных процессов

В данной статье рассмотрены вопросы разработки программного инструментария, способствующего снижению потребления энергоресурсов на производстве и расширяющего возможности специалистов по оптимизации ведения технологических процессов. В статье приводится описание основных технических решений и оценивается эффект от внедрения ПК «Эталон» на крупных промышленных предприятиях Свердловской области.

Основными задачами промышленного производства в стране являются повышение производительности труда, улучшение качества и снижение себестоимости выпускаемой продукции. Все эти задачи требуют внедрения эффективных методов снижения удельных энергозатрат на производство технологического продукта. В данной статье предлагается решение этой проблемы путём предоставления в распоряжение специалистов инструментария, реализуемого программным комплексом «Эталон» (ПК «Эталон»), позволяющим при ведении технологического процесса использовать имевшие место в практике данного производства действия лучших профессионалов-операторов. В отличие от хорошо известных автоматизированных систем, таких как АСУТП, АСКУЭ, АСОДУ, АСУП, АСОИ, предлагаемый ПК «Эталон» это не средство автоматизации, а инструмент технолога и оперативного персонала. Использование ПК «Эталон» позволяет постоянно совершенствовать технологический процесс с позиций поддержания уровня удельных энергозатрат, стремящегося к минимальному. Систематическое использование специалистами предложенного инструмента, кроме достижения основной цели – снижения удельных энергозатрат – является эффективным средством для упорядочивания их труда и опосредованно приводит к повышению технологической дисциплины, а также помогает оценивать качество работы персонала и выявлять возможную деградацию технологического оборудования и проблемные ситуации с АСУТП.

Назначение и цели внедрения ПК «Эталон»

Программный комплекс «Эталон» предназначен для контроля расхода топливно-энергетических ресурсов (далее «ресурсов») с целью минимизации их потребления при соблюдении требований к объёмам и качеству получаемой продукции.

Цели внедрения ПК «Эталон»:

- обеспечение оперативного контроля хода технологического процесса и расхода ресурсов (газ, мазут, электроэнергия, сжатый воздух, пар);
- формирование и оперативная корректировка эталонов расхода ресурсов, определяющих достижимые уровни минимального потребления ресурсов с учётом влияния внешних и внутренних факторов;
- снижение влияния негативных сторон человеческого фактора за счёт автоматизации контроля и сигнализации повышенного потребления ресурсов как в истории, так и в реальном времени на всех ключевых этапах технологического процесса;
- предоставление информации о технологических параметрах и данных, рассчитанных ПК «Эталон», для определения оптимальных характеристик технологического процесса, вероятных причин перерасхода потребления ресурсов и выявления непроизводительных затрат;

– расчёт и представление показателей эффективности использования ресурсов для мотивации работников и руководителей к сокращению затрат на производство.

ПК «Эталон» предназначен для контроля затрат ресурсов при ведении технологических процессов различной природы. Подход, использованный для разработки ПК «Эталон», позволяет адаптировать его для использования в любом процессе, обеспеченном соответствующим набором датчиков.

При развёртывании ПК «Эталон» на основных этапах производственного процесса различных предприятий появляется возможность использовать уточнённое планирование расходов ресурсов по предприятиям, проводить выявление «узких» мест и потенциала для повышения эффективности производства, формировать сводные отчёты, отслеживать экономическую эффективность проведения мероприятий, в том числе от внедрения ПК «Эталон».

Основные технические решения

Функции программного комплекса «Эталон»

Производственный процесс, обслуживаемый ПК «Эталон», представляется в системе состоящим из характерных этапов, отличающихся особенностями технологии. По результатам обследования процесса для этапа каждого типа назначаются входные параметры, существенно влияющие на специфику его технологии (это могут быть параметры поступающего сырья, соотношение различных видов сырья – полезного и примесей, температура входного продукта, температура внешней атмосферы, теплотворная способность топлива, параметры режимов работы технологических агрегатов и др.). После чего в полученном пространстве входных параметров проводится деление на области, внутри каждой из которых система выбирает из базы данных состоявшихся плавок этап с минимальным удельным энергопотреблением. Значение удельного расхода энергоносителя такого этапа, сопоставленное соответствующей области параметров, называется узловой точкой.

Процедуру подбора и обновления узловых точек в ПК «Эталон» можно охарактеризовать как автоматизированную, то есть требующую участия человека. Специалист, работающий с системой, вводит в неё информацию о существенных отклонениях от регламента ведения процесса – нештатных ситуациях. Далее, в зависимости от наличия или отсутствия нештатных ситуаций, система формирует для этапа соответственно отрицательную или положительную оценку. При наличии отрицательной оценки этап не сможет стать узловым, выставление положительной оценки инициирует процесс обновления набора узлов, в результате чего новые этапы могут заменить старые в наборе узловых точек.

В пространстве входных параметров этапов каждого типа система на основе полного набора узловых точек формирует аналитическую функцию расчётных значений целевых уровней удельных затрат энергоносителя (эталонная функция). Значения этих уровней предъявляются оператору во время ведения им технологического процесса в качестве реализуемых ожидаемых удельных расходов энергоносителя на конец этапа.

Кроме того, средства ПК «Эталон» позволяют оператору при ведении технологического процесса сравнивать свои действия с образцом из истории (ориентиром). Образец выбирается системой автоматически из имеющихся в базе данных этапов с использованием двух критериев: степени близости входных параметров к значениям параметров текущего этапа и степени близости удельного расхода к эталонному значению расхода на конец текущего этапа. Выбранный таким образом ориентир наиболее оптимален для проведения сравнения.

Эталонная функция формируется ПК «Эталон» с учётом существенных факторов технологического процесса, таких как параметры поступающего сырья, режимы работы технологических агрегатов и прочие факторы.

Таким образом, ПК «Эталон» обеспечивает выполнение следующих функций:

– сбор данных по технологическим и энергетическим параметрам;
– расчёт и корректировка эталонных значений удельного расхода ресурсов для этапов технологического процесса в зависимости от параметров сырья, качества готового продукта, внешних и внутренних факторов;
– предоставление образцового графика расхода ресурсов по ходу технологического процесса;
– контроль, выявление, сигнализация отклонений от образцового графика расхода ресурсов по ходу технологического процесса;
– предоставление инструментария для диагностики потерь ресурсов и выявления неэффективных затрат;
– предоставление возможности просмотра и выбора графиков основных технологических параметров для анализа причин отклонений расхода ресурсов от установленного эталона.

Благодаря представлению в ПК «Эталон» технологического цикла как набора этапов, также становится возможным отделение производительных затрат (то есть затрат, связанных с получением готового продукта) от неэффективных затрат, вызванных, на-

пример, простоями оборудования в горячем резерве для обеспечения синхронизации работы нескольких агрегатов в цехе предприятия. Выполнение расчёта неэффективных затрат ресурсов на каждом цикле работы технологического производства и оперативная сигнализация их отклонений от допустимых значений расширяют функционал ПК «Эталон»: помимо оптимизации ведения технологического процесса на отдельно взятых агрегатах, появляется возможность выявления сбоев в организации согласованной работы всех агрегатов производства. В конечном итоге это обеспечит дополнительную экономию ресурсов и повысит экономическую эффективность от внедрения ПК «Эталон».

Формирование эталонной функции

При наличии существенной зависимости удельных энергозатрат от значения входных параметров, при которых осуществлялся этап технологического процесса, всё пространство входных параметров может быть разбито на области, внутри которых условия проведения этапа можно считать примерно одинаковыми. Тогда в каждой такой области можно найти наиболее удачный (с минимумом энергопотребления) этап, который и станет узловым для дальнейшего построения эталонной функции. Эталонная функция строится в пространстве входных параметров {P1, P2, ...} и может быть подобрана, например, с использованием метода минимума суммы квадратов отклонений как гладкая функция Qэ = Qэ(P1, P2, ...), см. рис. 1.

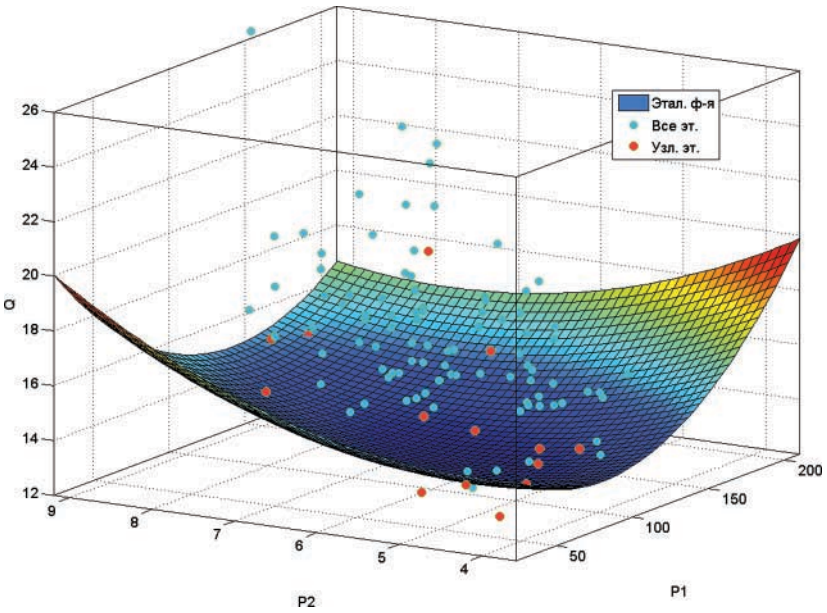


Рис. 1. Построение эталонной функции

Таким образом, даже если конкретный, протекающий в реальном времени этап технологического процесса проводится при значениях параметров (P1t, P2t,...), не совпадающих со значениями параметров узловых этапов, об эффективности протекающего процесса можно судить, сравнивая величины Qt и значение эталонной функции Qэ в точке (P1t, P2t, ...), см. рис.2.

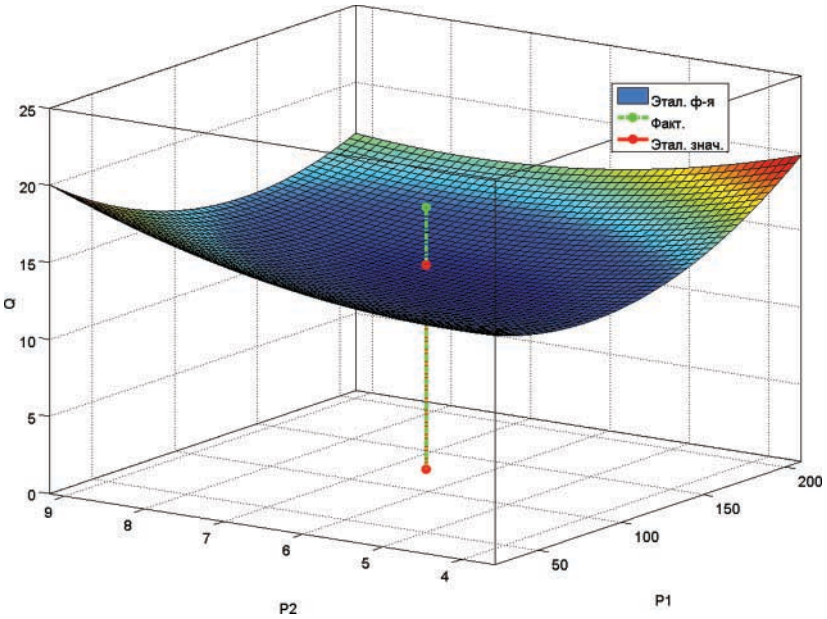


Рис. 2. Фактическое и эталонное значение энергозатрат для текущего процесса

Основные положения алгоритма назначения узловых этапов:

1) из всего набора этапов одного типа выделяется подмножество положительно оценённых этапов, то есть этапов, проведённых без нештатных ситуаций и отклонений от технологической инструкции;

2) далее отбрасываются этапы, не принадлежащие окрестности заданного радиуса, построенной в пространстве нормированных входных параметров;

3) для оставшихся этапов проводится анализ значений их выходного параметра (энергозатраты) с использованием критерия минимальности;

4) этап с минимальным значением удельных энергозатрат становится узловым, заменяя в случае необходимости ранее найденные в окрестности узловые

точки (самокоррекция в процессе накопления статистики).

Нормирование (центрирование и масштабирование) набора значений входного параметра x, описывающего этапы одного типа, проводится по следующей формуле:

$$x_{ni} = kx_i + b, \quad (1)$$

где

$$k = \frac{1}{\sigma_x}, \; b = -\frac{m_x}{\sigma_x}, \quad (2)$$

$$m_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \; \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - m_x)^2}, \quad (3)$$

n – количество значений параметра x в наборе;

x_i – i-ое значение параметра x из набора;

x_{ni} – i-ое нормированное значение параметра x из набора;

σ_x– среднеквадратичное отклонение параметра x, полученное на наборе $(x_1, x_2, \ldots x_n)$;

m_x– среднее значение параметра x, полученное на наборе $(x_1, x_2, \ldots x_n)$.

Расстояние между двумя точками 1 и 2 в пространстве нормированных входных параметров (x_n, y_n, ...) рассчитывается следующим образом:

$$r = \sqrt{(x_{n1} - x_{n2})^2 + (y_{n1} - y_{n2})^2 + \ldots}, \quad (4)$$

где x_{n1}, y_{n1}, ... – координаты точки 1;

x_{n2}, y_{n2}, ... – координаты точки 2.

Для построения эталонной функции по найденным узловым точкам в пространстве входных параметров используется метод многомерной интерполяции/аппроксимации на неравномерной сетке по обратному средневзвешенному расстоянию.

Структура и состав ПК «Эталон»

Источниками данных для работы ПК «Эталон» служат существующие информационные системы предприятия, например АСУТП, лабораторные информационные системы, системы взвешивания, АСТУЭ (см. рис. 3).

В соответствии с назначением, целями создания и функциями ПК «Эталон» в его состав входят следующие элементы:

- сервер ПК «Эталон», предназначенный для сбора и обработки технологических параметров, расчёта удельных расходов ресурсов, формирования эталонов и прогнозирования потребления ресурсов на основе данных о входных внешних и внутренних факторах;
- автоматизированные рабочие места специалистов с модулем контроля расхода и модулем анализа и формирования эталона.

В состав программного обеспечения ПК «Эталон» входят:

- система сбора и хранения технологических и энергетических параметров;
- система хранения эталонов и технологических этапов;
- вычислительно-аналитический модуль;
- модуль контроля расхода;
- модуль анализа и формирования эталона.

Эффект от внедрения ПК «Эталон»

В 2014–2015 гг. внедрение ПК «Эталон» производилось Уральским филиалом ЗАО «РТСофт» на предприятиях горно-металлургической отрасли.

С помощью средств ПК «Эталон» были решены следующие задачи:

- оперативное выявление причин повышенного расхода ресурсов;
- анализ изменения состояния технологического оборудования для предупреждения его отказов;
- оптимизация и планирование потребления ресурсов на основе эталонов и производственного плана.

В результате были достигнуты следующие цели:

- повышение стабильности технологического процесса при сохранении качества готового продукта;
- снижение удельных затрат энергоресурсов на 2–5 % и более.

Рис. 3. Структура ПК «Эталон»

Ю. В. Машинский, Л. Л. Орлов, ЗАО «РТСофт»

Цифровые подстанции 6–35 кВ. Выбор технических решений с учётом стоимости и удобства эксплуатации

Ключевые слова:
Цифровая подстанция, GOOSE, ОВБ, SCADA, информационная безопасность, МЭК 61850, ЛВС.

Введение

Распределительные сети 6–35 кВ – это важнейший элемент электросетевого комплекса, определяющий качество и надёжность электроснабжения потребителей. Повышению надёжности и эффективности работы элементов распределительных сетей уделяется огромное внимание как со стороны сетевых компаний, так и научного сообщества, мировых производителей оборудования и систем управления. Результатом этого является обширный набор новых технологий, массово внедряемых или испытываемых во всём мире, в том числе и в России. Одна из наиболее обсуждаемых тем – создание цифровых и/или «умных» (SMART) подстанций.

Термин «цифровая подстанция» (ЦПС) получил известность после выхода в свет стандарта МЭК 61850 «Коммуникационные сети и системы подстанций». Стандарт был призван упорядочить разнообразие применяемых на подстанциях технологий и облегчить взаимодействие устройств и систем различных производителей. Стандарт описывает множество аспектов создания систем автоматизации для электрических подстанций и подобных объектов, начиная от способов и языка описания информационной модели подстанции. Однако максимальную известность стандарт получил благодаря описанию технологий использования GOOSE-сообщений и передачи мгновенных значений (SV – Sampled Values). Споры о допустимости, надёжности, способах реализации, аспектах наладки и эксплуатации обеих технологий продолжаются уже более 10 лет. И если GOOSE-сообщения достаточно быстро нашли признание в профессиональной среде и сегодня являются достаточно распространённым явлением, использование SV до сих пор остаётся преимущественно экспериментальным.

Возвращаясь к распределительным сетям 6–35 кВ и образующим их подстанциям, стоит отметить, что долгое время нормы и подходы стандарта МЭК 61850 не применялись к объектам данного класса. Но по мере проработки технических решений и относительного удешевления ключевых компонентов, последние несколько лет ряд производителей, научных институтов и системных интеграторов разработали и предложили для пилотных внедрений несколько структурных схем «цифровых подстанций». Компания «РТСофт» также принимает участие в этих разработках и начиная с 2012 года предложила несколько вариантов технических решений для создания цифровых подстанций распределительных сетей.

Цели создания ЦПС

Принимая решение о внедрении новых технологий, сетевая компания или другой собственник, как правило, ставит перед собой какие-то цели, достижение которых оправдает затраты на этот проект. В случае «цифровых» подстанций эти цели можно укрупнено перечислить следующим образом:

1. Снижение издержек на строительство подстанций.
2. Снижение издержек на эксплуатацию подстанций.
3. Повышение надёжности работы подстанций.
4. Снижение тяжести и ускорение ликвидации аварийных ситуаций как на подстанциях, так и в целом в распределительной сети.
5. Обеспечение работоспособности новых функций управления распределительной сетью и её автоматизации (Smart Grid).
6. Различные исследовательские цели.

Проанализировав способы достижения целей с 1 по 5, можно с большой уверенностью определить наиболее эффективную архитектуру для построения ЦПС распределительных сетей. В качестве объекта для «примерки» архитектур ЦПС рассмотрим одну из современных блочно-модульную БКТП 35/6 кВ (рис. 1), к проектированию которой привлекалась компания «РТСофт» в 2014 году.

Описание архитектурных решений и причин их выбора

Строительство. Снижение издержек на строительство подстанции под влиянием технологий ЦПС возможно за счёт следующих факторов:

1) уменьшения количества и габаритов оборудования и сопутствующих материалов;

2) удешевления проектных, строительно-монтажных и наладочных работ.

Устройства и материалы систем автоматизации можно распределить на несколько групп:

– устройства, встраиваемые в первичное оборудование или располагающиеся в непосредственной близости от него;
– устройства, устанавливающиеся в отдельных шкафах (панелях) автоматизации и размещаемые, как правило, в отдельном помещении ОПУ или РЩ;
– кабели и другая инфраструктура, обеспечивающая работоспособность системы.

Компактность подстанции – определяющий фактор при выборе технических решений для строительства, особенно в условиях современных мегаполисов. Исходя из этого, приоритетом является минимизация количества устройств, выполненных в виде отдельных шкафов, и повышение функциональности тех шкафов, установка которых неизбежна. Использование блочно-модульной конструкции определяет минимально разумную площадь выделенного помещения ОПУ – это один модуль примерным размером 2,5(3)–5(6) метров. Площадь 18 м² составляет от 12 до 30 % общей площади подстанции. Данная площадь позволяет удобно разместить следующий набор шкафов:

1) шкаф защиты трансформатора – 2 шт.;
2) шкаф защиты шин 35 кВ – 1 шт.;
3) шкаф РАС – 1 шт.;
4) шкаф АСУТП и ТМ – 1 шт.;
5) шкаф АИИСКУЭ – 1 шт.;
6) шкаф связи – 1 шт.
7) шкафы собственных нужд и оперативного постоянного тока.

При этом шкафы РЗА, АСУТП и связи выполнены в варианте с двухсторонним обслуживанием. Это количество шкафов можно оптимизировать, поместив оборудование связи и УСПД АИИСКУЭ в состав шкафа АСУТП и ТМ, а также переместив шкафы защит в РУ 35 кВ. Однако дальнейшая оптимизация была признана излишней. Так как уменьшение размера ОПУ меньше одного модуля экономически не оправданно, а удобство эксплуатации оборудования, размещённого в одном помещении, – очевидно.

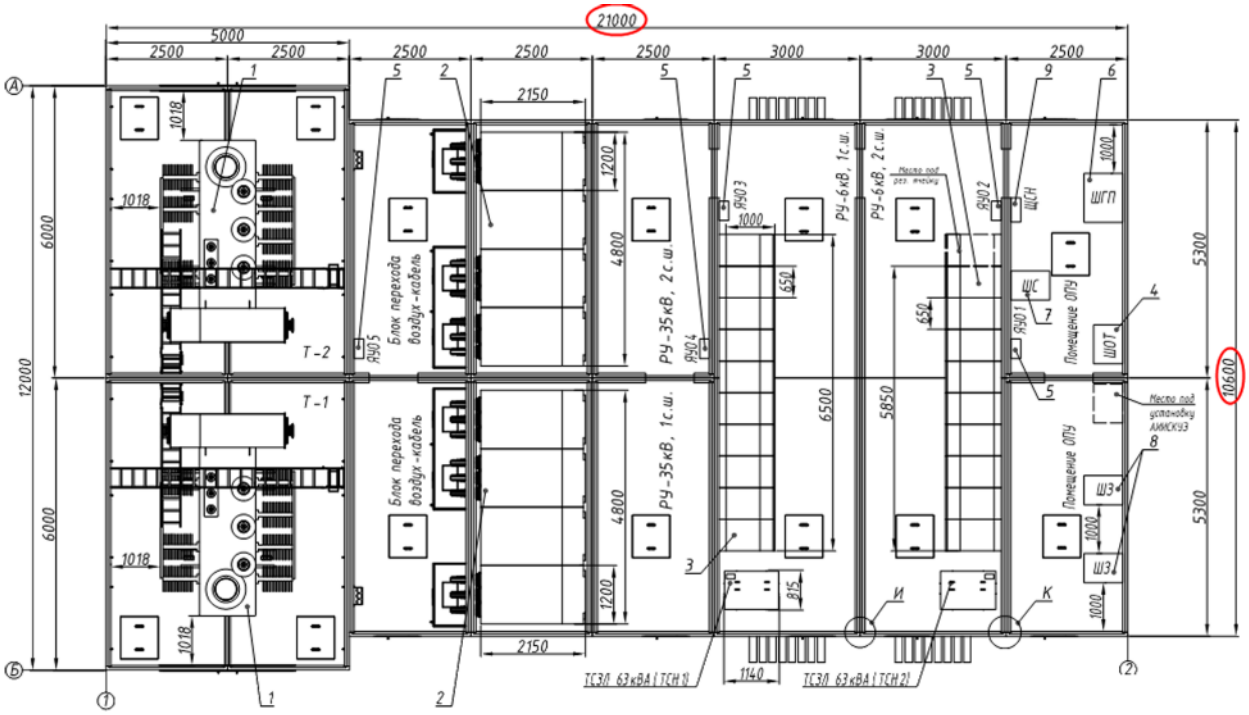


Рис. 1. План из проекта блочно-модульной подстанции 35/6 кВ. Ранняя стадия проектирования

Распределительные устройства напряжением 6–35 кВ выполняются, как правило, из ячеек КРУ с вакуумными или элегазовыми выключателями. Устройства РЗА, АСУТП и АИИСКУЭ отдельных присоединений размещаются в релейных отсеках этих ячеек. При этом размер релейных отсеков накладывает очень серьёзные ограничения на количество и габариты размещённых внутри устройств. Особенно жёстко это ограничение ощущается для ячеек 6–10 кВ, производители которых идут на максимальное количество ухищрений для уменьшения их габаритов. В результате в релейном отсеке ячейки размещаются два компактных устройства: измерительный преобразователь со встроенными дискретными входами для сбора сигналов телемеханики и многофункциональное устройство РЗА, выполняющее управление не только выключателем, но и заземляющими ножами и выкатным элементом. Счётчик АИИСКУЭ вынесен на внешнюю поверхность двери релейного отсека.

Устройства РЗА и измерительные преобразователи используют механизм GOOSE-сообщений для обмена информацией, необходимой для реализации функций РЗА и блокировок. В целях обеспечения минимального времени доставки сигналов РЗА, таких как пуск УРОВ и т. п., для подключения устройств РЗА выбрана технология «двойная звезда» и протокол RSTP, быстродействие которого в сети из 2–5 коммутаторов достаточно для обеспечения практически безударной перестройки сети в случае единичных отказов коммутаторов.

Измерительные преобразователи, установленные в ячейках, подключаются по схеме «кольцо». Данные от измерительных преобразователей используются в задачах, связанных с управлением и блокировками, имеющих значительно более щадящие требования как к скорости доставки сообщений, так и к надёжности сети в целом.

Данное решение позволило практически отказаться от использования недиагностируемых линий связи за пределами отдельных ячеек КРУ. За пределы ячеек выходят только шинки питания, цепи напряжения от ТН и тока для защиты трансформаторов, непрерывный контроль исправности данных цепей является базовой функцией систем АСУ и РЗА уже многие годы.

В данной архитектуре принято решение отказаться от передачи мгновенных значений тока и напряжений по шине процесса и применения, отдельных или совмещённых с устройствами РЗА, УСШ. Это решение принято исходя из следующих предпосылок:

– в кабельном хозяйстве подстанции среднего напряжения количество и длина кабелей, по которым передаются аналоговые сигналы тока и напряжения, не позволяют говорить о сколь-нибудь значимой экономии при их замене на цифровые каналы связи;
– даже появление максимально дешёвых УСШ всё равно приводит к удорожанию системы, не оправданному практической необходимостью;
– построение шины процесса приводит к удорожанию всех компонентов системы – устройств РЗА и АСУ ТП, устройств синхронизации времени, сетевых коммутаторов;
– усложняется организация мер информационной безопасности.

Удешевление проектных и монтажно-наладочных работ достигается за счёт типизации и модульности проектных решений. При этом уровень технологий, используемых при построении ЦПС, в совокупности не оказывает положительного эффекта на стоимость этих работ, так как декларируемое снижение трудоёмкости отдельных этапов работ на самом деле ведёт к удорожанию оставшихся.

Эксплуатация. Эффективность эксплуатации напрямую зависит от надёжности работы подстанции и прилегающей сети.

Издержки на эксплуатацию подстанции включают:

1) издержки на организацию оперативных переключений;

2) издержки на организацию технического обслуживания и ремонта.

Повышение надёжности работы подстанций достигается за счёт:

1) снижения количества ошибок на стадии проектирования и наладки;

2) снижения числа отказов вторичных систем;

3) уменьшения негативного влияния человеческого фактора благодаря автоматизации функций управления и блокировкам.

Основная экономия на выполнении оперативных переключений достигается за счёт применения принципов телеуправления, а технологии ЦПС только обеспечивают несколько большую надёжность самой процедуры. Функциональность ЦПС в области оперативного, дистанционного и автоматизированного управления обеспечивается возможностями сервера АСУ. Сервер служит шлюзом между подстанционным оборудованием и системами управления внешнего мира, осуществляя обмен оперативной информацией со SCADA ЦУС и предоставляя доступ к неоперативной информации. При наличии технической возможности сервер АСУ может осуществлять автоматическое управление объектами сети 6 кВ, ускоряя процесс поиска повреждений и возобновления электроснабжения потребителей.

Общее повышение наблюдаемости за режимами работы и техническим состоянием электрооборудования и в первую очередь кардинально изменившиеся возможности самодиагностики цифровых устройств

позволяют на ранних стадиях выявлять возможные отказы и экономить на их предотвращении или устранении последствий. Однако необходимым условием для получения полезного эффекта является не просто сбор большого объёма технологической информации, но в первую очередь наличие аналитических методик, способных обрабатывать эту информацию. В противном случае остаётся только прямая экономия на сокращении времени техобслуживания и осмотров.

При продвижении технологий цифровых подстанций вопрос надёжности пытаются решить, как правило, путём простого дублирования оборудования, в пределе предлагаются полностью дублированные системы. Однако дублирование гарантированно защищает только от «случайного» аппаратного отказа отдельного элемента и практически не защищает от ошибок в программном обеспечении и от ошибок конфигурирования. При этом вероятность появления системной ошибки, от которой откажут оба дублированных комплекта, достаточно высока.

При построении ЦПС рассматриваемой ПС 35/6 кВ надёжность решения обуславливается в первую очередь принципом постепенной деградации и максимальной функциональной автономности отдельных присоединений и систем.

Наиболее уязвимым компонентом любой ЦПС является локальная сеть. Для обсуждаемой подстанции 35/6 кВ полный или частичный отказ любого коммутатора или абонентского устройства сети не оказывает негативного влияния на работоспособность системы в целом. Более серьёзный отказ сетевого оборудования возможен только при таких «катастрофических» сценариях, когда ущерб от неработоспособности ЛВС будет пренебрежимо мал на общем фоне.

При обсуждении надёжности ЦПС нельзя не упомянуть про информационную безопасность. Информационная безопасность данного решения обеспечивается мерами защиты канала связи ПС–ЦУС, ограничением доступа к локальному АРМ. Модель угроз необслуживаемой подстанции свидетельствует о том, что изощрённые методы защиты внутри подстанционных коммуникаций не имеют смысла, так как, проникнув на территорию ПС, злоумышленник получает непосредственный доступ к электрооборудованию и органам управления им.

Заключение

При проектировании блочно-модульной ПС 35/6 кВ специалистами ЗАО «РТСофт» было рассмотрено множество технологий, так или иначе относящихся к «цифровым подстанциям». Однако для подстанций распределительных сетей понятие «цифровая подстанция» правильнее трактовать, как автоматизированная подстанция. Из всего многообразия стандарта МЭК 61850 для применения на этих подстанциях условно оправдано использование общего языка описания SCL и GOOSE-сообщений.

Передовые технологии «РТСофт» на Международном морском салоне

(Окончание. Начало на стр. 28)

системотехнической проработке, конструировании и производстве корпусов, электронных модулей, электронных блоков, приборов и шкафов автоматики. А СКБ «РТСофт» осуществляет выпуск опытных образцов продукции, включая сборку, монтаж, наладку и тестирование; мелкосерийный и серийный выпуск электронной аппаратуры и программно-технических комплексов для информационно-измерительных систем, автоматики и промышленной электроники.

Электронная аппаратура, разработанная и выпущенная инженерно-конструкторским комплексом «РТСофт», была представлена на двух демонстрационных стендах. Посетители увидели: платы-носители УВП и графической карты MXM, модуль репитера PCI Express +2DVI, гибко-жёсткую плату PCI Express, модуль контроля технического состояния (КТС), защищённый сервер PS-01, многофункциональный измерительный преобразователь МИП-02А-43.01 и сервер точного времени PTS-02. Ведущие специалисты компании показывали отличительные черты и преимущества оборудования, а посетители стенда в свою очередь отметили высокий уровень разработок, в частности идею и концепцию платы УВП и модуля КТС. Разработанные в рамках программы импортозамещения «РТСофт», они представляют собой сплав самых передовых зарубежных технологий, многолетнего опыта внедрения и широкого спектра инженерно-технических компетенций специалистов компании.

Этот салон знаменателен тем, что «РТСофт» впервые показал всю палитру своих возможностей – от средств разработки программного обеспечения для флота до производства уникальных изделий электронной аппаратуры.

А. А. Небера, Н. Г. Шубин, П. Н. Казаков, ЗАО «РТСофт»
Д. Н. Уткин, ОАО «СО ЕЭС»

Пилотный проект внедрения программного комплекса PhasorPoint в ОАО «СО ЕЭС»

Ключевые слова:
СМПР, мониторинг, архитектура, низкочастотные и субсинхронные колебания, контроль пределов передаваемой мощности

В августе 2014 года ОАО «СО ЕЭС» инициирована реализация пилотного проекта внедрения программного комплекса (ПК) PhasorPoint в главном диспетчерском центре. Этот комплекс разработан компанией Psymetrix и предназначен для построения верхнего уровня систем мониторинга переходных режимов (WAMS – Wide Area Measurement System).

При выборе программного комплекса для пилотного проекта принимались во внимание следующие критерии:

– опыт применения в различных энергосистемах;
– масштабируемость от единиц до нескольких тысяч PMU (Phasor Measurement Unit);
– наличие аналитических приложений для контроля низкочастотных колебаний.

Реализация данного проекта предусматривает приём синхронизированных векторных измерений (СВИ) первоначально от десяти PMU, в последующем количество PMU может быть увеличено. В качестве 10 точек мониторинга были выбраны объекты электроэнергетики, оснащённые программно-техническими комплексами системы мониторинга переходных режимов и расположенные в различных операционных зонах единой энергосистемы России. Для мониторинга были выбраны мощные электростанции, расположенные в системообразующих узлах. Перечень точек мониторинга параметров электроэнергетического режима в ПК PhasorPoint приведён в таблице.

ОАО «СО ЕЭС» совместно со специалистами электростанций была организована работа по переконфигурированию концентраторов векторных данных для обеспечения передачи в диспетчерские центры фазоров фазных напряжений и фазных токов, а также

Перечень точек мониторинга параметров электроэнергетического режима в ПК PhasorPoint

№	Наименование объекта	Присоединение	Тип PMU
1	Ленинградская АЭС	ВЛ 750 кВ Ленинградская АЭС – Ленинградская	МИП-02А-40.01
2	Калининская АЭС	ВЛ 750 кВ Калининская АЭС – Владимирская	МИП-02А-40.01
3	Курская АЭС	ВЛ 750 кВ Курская АЭС – Североукраинская	МИП-02А-40.01
4	Ростовская АЭС	ВЛ 500 кВ Ростовская АЭС – Будённовск	МИП-02А-40.01
5	Балаковская АЭС	ВЛ 500 кВ Балаковская АЭС –Ключики	МИП-02А-40.01
6	Рефтинская ГРЭС	ВЛ 500 кВ Рефтинская ГРЭС – Тюмень ц.1	РЭС-3 Прософт
7	Сургутская ГРЭС-2	ВЛ 500 кВ Сургутская ГРЭС-2 – Пыть-Ях	РЭС-3 Прософт
8	Кольская АЭС	ВЛ 330 кВ Кольская АЭС – Княжегубская ГЭС ц. 1	МИП-02А-40.01
9	Воткинская ГЭС	ВЛ 500 кВ Воткинская ГЭС – Вятка	МИП-02А-40.01
10	Назаровская ГРЭС	ВЛ 500 кВ Назаровская ГРЭС – Красноярская ГЭС, ц.1	МИП-02А-40.01

параметров частоты и скорости изменения частоты по каждому присоединению.

Также для реализации приёма СВИ в ПК PhasorPoint выполнена модификация программного обеспечения программно-аппаратного комплекса «Автоматическая система сбора информации от регистраторов СМПР», развёрнутого во всех диспетчерских центрах ОАО «СО ЕЭС». Структурная схема сбора СВИ в ПК PhasorPoint показана на рис. 1.

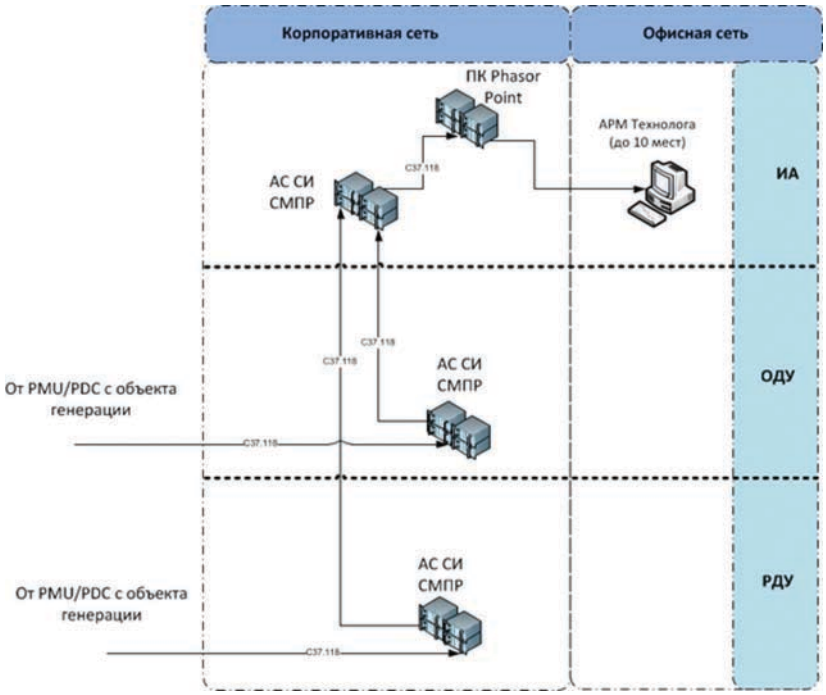


Рис. 1. Структурная схема сбора СВИ в ПК PhasorPoint

Основными задачами, решаемыми при развёртывании ПК PhasorPoint в главном диспетчерском центре, являются визуализация динамики изменения параметров электроэнергетического режима, анализ технологических нарушений и аварийных ситуаций, мониторинг низкочастотных колебаний (МНЧК), реализация сбора и хранения аварийных архивов и т. п. Ниже приведён перечень основных функций в приобретаемой ОАО «СО ЕЭС» комплектации ПК PhasorPoint:

1. Визуализация:
- отображение данных в режиме реального времени и ретроспективных данных;
- верхнеуровневая обзорная диаграмма параметров;
- многоуровневое иерархическое географическое представление;
- приближение (масштабирование), панорамный обзор, прокручивание областей вверх/вниз;
- управление уведомлениями и сигнализацией;
- динамическая привязка к базисным значениям углов.

2. Мониторинг состояния системы:
- цветовая градиентная раскраска контролируемых областей для:
  - a) модулей напряжений;
  - b) частоты;
  - c) разницы фаз.
- просмотр отклонений и разниц фаз по всей энергосистеме;
- масштабирование для энергосистем любого размера и количества точек замеров PMU;
- график разброса максимальных и минимальных контролируемых значений;
- графики отображения относительных значений фаз по отношению к базисному.

3. Пользовательские настройки функций визуализаций и управления событиями:
- MyViews – набор пользовательских настраиваемых графических и табличных форм представления данных;
- составные события – логические комбинации одновременных событий, позволяющие создавать точные агрегированные высокоуровневые оповещения и предупреждения.

4. Воспроизведение ретроспективных данных:
- графические отображения с географической иерархией с возможностью воспроизведения архивных данных;
- полное воспроизведение функциональности, доступной в режиме реального времени;
- временная выборка любого зафиксированного периода;
- выбор промежутков по дате/времени или из журнала событий;
- управление скоростью воспроизведения событий: нормальная скорость, замедленное, ускоренная «перемотка» и т. д.

5. Мониторинг колебательной устойчивости энергосистемы:
- определение устойчивости энергосистемы для нескольких доминирующих видов низкочастотных колебаний:
  - a) частоты;
  - b) амплитуды;
  - c) демпфирования;
  - d) относительного фазового угла;

– генерация аварийных сигналов для спектра слабозатухающих колебаний и/или колебаний большей амплитуды;
– отображение на географической подложке районов с зафиксированными типами колебаний;
– «быстрый анализ» для генерации аварийных предупреждений;
– анализ трендов изменений;
– онлайн-представление результатов для оперативного управления;
– ретроспективное представление данных для послеаварийного анализа, системного тестирования и статистики.

6. Анализ аварийных событий:
– определение нарушений системы посредством углового передвижения;
– идентификация местоположения инициирующего события (угол для перемещения);
– указание места возникновения нарушений на иерархической географической схеме;
– запись времени, места (сигнала), тип и влияние события.

7. Функции концентратора векторных данных:
– стандартные функции контроля данных:
  a) входные потоки данных в протоколе IEEE C37.118;
  b) агрегированные/выходные потоки;
  c) выбор сигналов для выходных потоков;
  d) фильтрация и снижение частоты дискретизации;
  e) увеличение частоты дискретизации.
– поддержка сетевых протоколов TCP, одноадресная передача UDP, многоадресная передача UDP и т. д.;
– корректировка данных, масштабирование;
– проверка достоверности меток времени;
– генерация выходного потока данных на основе архивов для целей обучения/предпусковых испытаний;
– высокая эксплуатационная готовность;
– восстановление данных между платформами Psymetrix;
– центральный PDC-концентратор, интегрированный с ПК PhasorPoint.

8. Сервер архивных данных:
– возможность записи краткосрочных архивов (от 3 до 12 месяцев с периодом дискретизации 20 мс);
– возможность записи долговременных архивов (до 5 лет с периодом дискретизации 1 с);
– возможность записи аварийных архивов с периодом дискретизации 20 мс;
– журналирование событий с фильтрацией.

9. Поддержка интерфейсов и протоколов:
– C37.118-2005 (импорт и экспорт);
– IEC 60870-5-104 (импорт и экспорт);
– COMTRADE (импорт и экспорт);
– CSV (экспорт);
– ODBC/JDBC для доступа SQL.

Одна из основных функций комплекса – функция мониторинга низкочастотных колебаний, которая обеспечивает идентификацию параметров колебаний в энергосистеме, контроль частоты, амплитуды, фазы и уровня демпфирования (скорость или постоянную времени затухания) колебаний параметров режима в различном спектре частот. На основании анализа перечисленных характеристик низкочастотных колебаний, а именно при фиксировании сильных колебаний или слабодемпфируемых колебаний, приложение МНЧК генерирует предупредительные сигналы. Также результаты работы приложения МНЧК предназначены для верификации параметров динамических расчётных моделей энергосистем.

Ввод комплекса в промышленную эксплуатацию запланирован на октябрь 2015 года. К этому времени предполагается накопить достаточный объём измерений и результатов их анализа, что позволит оценить возможности программного комплекса и принять решение о возможных направлениях развития этого направления в ОАО «СО ЕЭС».

В ближайшей перспективе использующийся функционал может быть расширен дополнительными средствами анализа, позволяющими:
– определять пути распространения низкочастотных колебаний по электрической сети энергосистемы и выявления источника – инициатора указанных колебаний. В сочетании с функционалом приложения МНЧК данное приложение может быть использовано диспетчером в темпе реального времени для упреждения развития аварийных ситуаций, связанных с нарушением устойчивости энергосистемы, путём своевременного воздействия на источник, провоцирующий незатухающие колебания режима;
– использовать ступенчатую автоматизированную технологию настройки системных стабилизаторов, принцип которой представлен на рис. 2.

Рис. 2. Принцип ступенчатой автоматизированной технологии настройки системных стабилизаторов

С учётом того, что ПК PhasorPoint представляет собой универсальную платформу, на базе которой могут быть реализованы дополнительные аналитические приложения, в качестве перспектив развития пилотного проекта рассматривается возможность реализации дополнительных алгоритмов на базе СВИ:

– режимных пусковых органов для противоаварийной автоматики (ПА);
– систем режимной верификации достоверности телесигналов (ТС) о статусе состояния (включено/выключено) линий электропередачи;
– аналога устройства фиксации отключения линии (ФОЛ), действующего на основе анализа режимных параметров.

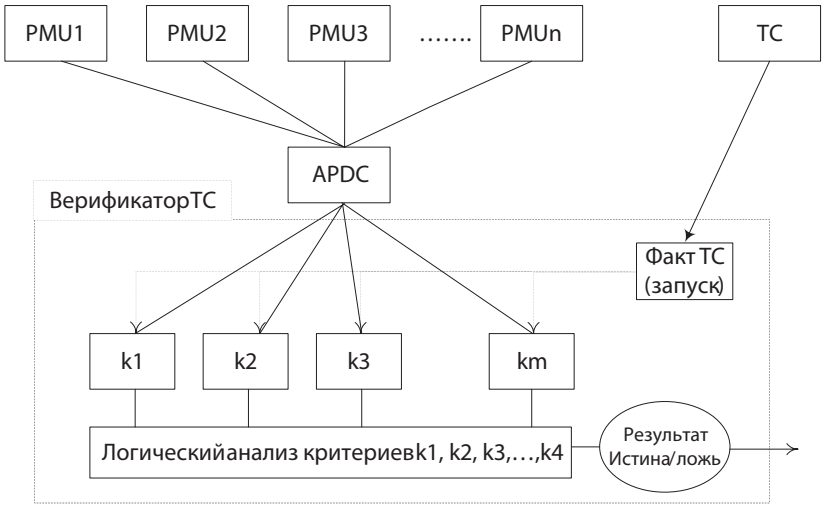


Рис. 3. Структурная схема процесса верификации телесигналов

Режимные пусковые органы ПА

В современной практике перечень пусковых органов централизованной противоаварийной автоматики (ЦСПА), обеспечивающей повышение пропускной способности электрических сетей 110–500 кВ ряда энергообъединений ЕЭС России, ограничен дискретными событиями – *отключениями линий электропередачи и/или генераторов*. Никакие другие события в энергосистеме: фактические набросы/сборы или опасные нарастания передачи мощности в сечениях электрической сети, критические увеличения относительных фазовых углов напряжения, значительные снижения/повышения модулей напряжения и прочие, способные послужить индикаторами угрозы или начала развития нежелательных процессов, – не используются в качестве триггеров для запуска действия автоматики.

С появлением СВИ в дополнение к существующим дискретным пусковым органам ПА могут быть добавлены режимные пусковые органы, реагирующие:

– на абсолютные значения режимных параметров (активные и реактивные мощности в электрических связях и сечениях, токи, частота, модули и фазовые углы напряжений);
– на тренды и скорости изменения режимных параметров во времени;
– на чувствительности одних режимных параметров к изменению других, таких, например, как частные производные $\partial U/\partial Q$ (индикатор опасных режимов с точки зрения устойчивости нагрузки по напряжению); $\partial\delta/\partial P$ (индикатор приближения тяжёлых режимов с точки зрения угловой устойчивости) и другие.

Перечисленные режимные пусковые органы могут использоваться не только в комплексах ЦСПА, но в перспективных интеллектуальных ПА, обеспечивающих плавно-дискретный ввод режима в область допустимых значений, которые можно создать по образу и подобию ЦСПА, но использующих в качестве технологического алгоритма счётчик оптимизации электрического режима по активной и реактивной мощности, оперирующий аналоговыми и дискретными переменными управления.

Системы верификации ТС

На практике нередки случаи формирования ложных ТС об изменении состояния коммутационных аппаратов. В недавнем прошлом возникновение ложных ТС не было существенной проблемой, поскольку достоверность/недостоверность факта отключения коммутационного аппарата могла быть подтверждена в результате телефонного звонка нижестоящему оперативному персоналу. В настоящее время увеличивается количество необслуживаемых подстанций (ПС), кроме того, ТС начинают находить новое практическое применение в SCADA/EMS/DMS, являясь основой для определения текущего состояния топологии расчётных моделей сети, на которых базируется целый комплекс умных технологий, начиная со статического оценивания состояния электрического режима, заканчивая различными видами анализа и оптимизации режима.

Принцип действия. По факту прихода ТС об изменении состояния коммутационных аппаратов, способных изменить топологию расчётной модели сети, на основе обработки режимных параметров, поступающих на диспетчерские центры в составе потоков СВИ, вычисляется группа *расчётных кри-*

териев. Далее на основании логического анализа *динамики расчётных критериев*, производится автоматический вывод истинности ТС. Структурная схема процесса верификации ТС приведена на рис. 3.

В качестве *расчётных критериев* могут использоваться:

– векторная невязка (или её модуль) напряжений из выражения Закона Ома для электрической связи

$$\dot{U}_i - \dot{U}_j - \Delta\dot{U}_{ij} = \varepsilon\dot{u}_{ij};$$

– векторная невязка (или её модуль) баланса токов по электрической связи

$$\dot{I}_i - \dot{I}_j \pm \Delta\dot{I}_{ij} = \varepsilon\dot{i}_{ij};$$

– устойчивые статистические связи между параметрами режима в параллельных или смежных электрических связях;
– расчётные выражения для вычисления Z электрической связи.

Резервные устройства ФОЛ

В настоящее время вывод из работы устройств ФОЛ с одной из сторон линии электропередачи, являющейся пусковым органом ЦСПА, означает, что данный пусковой орган полностью выводится из действия ЦСПА со всеми вытекающими последствиями в отношении ужесточения системных ограничений (снижение допустимых перетоков мощности по сети).

При наличии онлайнового потока СВИ с обоих концов линии электропередачи возможно создать резервный ФОЛ, работающий на основе быстрого анализа динамики изменения режимных параметров. Принципы действия резервного ФОЛ аналогичны принципу действия системы верификации ТС, с учётом двух отличий:

– резервный ФОЛ должен работать в постоянном ждущем режиме (в отличие от системы верификации ТС, где запуск инициируется по факту прихода ТС) *или* для запуска резервного ФОЛ необходим постоянно действующий *режимный критерий отключения;*
– необходимо обеспечить быстродействие резервного ФОЛ не ниже 200 мс.

С развитием технологий синхронизированных измерений до уровня наблюдения и фиксации мгновенных значений параметров режима существенно расширятся возможности онлайновой диагностики высоковольтного оборудования, появится возможность создания базовых интеллектуальных пусковых органов для РЗ и ПА на объектах электроэнергетики.

Заключение

Наличие оперативной информации о характеристиках возникающих низкочастотных колебаний и иных динамических характеристиках электрических режимов позволяет улучшить ситуационную осведомлённость диспетчеров и принимать превентивные меры по предотвращению развития аварийных ситуаций.

Применение технологии СВИ в масштабах Объединённой электроэнергетической системы требует выбора и применения программной платформы верхнего уровня, удовлетворяющей высоким требованиям по производительности, устойчивости и масштабируемости. Создание такой платформы, начатое в рамках пилотного проекта, позволит создать практическую основу для разработки и применения новых алгоритмов, рассмотренных в настоящей статье.

Список литературы

1. Douglas WILSON (Psymetrix – UK), Eric GOUTARD (Alstom Grid – France). Connection and management of distributed generation using synchrophasor measurement and advanced distribution management system. 21st International Conference on Electricity Distribution Frankfurt, 6-9 June 2011

2. Д. Уилсон, Р. Фолкс (ALSTOM GRID, Великобритания). Международный опыт мониторинга устойчивости энергосистем с использованием технологии WAMS. IV международная научно-техническая конференция «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», 3–7 июня 2013 г., Екатеринбург

3. Жуков А. В., Дубинин Д. М., Опалев О. Л., Уткин Д. Н. (ОАО «СО ЕЭС»). Развитие задач мониторинга и управления в ЕЭС России на базе Системы мониторинга переходных режимов. Сборник докладов XXII конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем» Москва, 27–29 мая 2014.

4. Жуков А. В., Дубинин Д. М., Опалев О. Л., Уткин Д. Н. (ОАО «СО ЕЭС»). Разработка алгоритмов идентификации и мониторинга низкочастотных колебаний по данным СМПР. Сборник докладов XXII конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем» Москва, 27–29 мая 2014.

5. Небера А. А., Казаков П. Н. (ЗАО «РТСофт»). Программный комплекс PhasorPoint: новые аспекты международного опыта и перспективы применения в России. Сборник докладов XXII конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем» Москва, 27–29 мая 2014.

В. А. Харламов, ООО «Юнител Инжиниринг»

Современные цифровые системы ВЧ–связи по ЛЭП 35 кВ и выше: состояние и перспективы развития

Ключевые слова:
ВЧ-каналы, QAM, OFDM, MCM, IP, Ethernet, воздушные линии, кабельные линии

Введение

В российской электроэнергетике высокочастотные (ВЧ) каналы по линиям электропередачи (ЛЭП) 35 кВ и выше в диапазоне частот 20–1000 кГц традиционно используются для систем релейной защиты и автоматики (РЗА), организации диспетчерских и технологических каналов телефонной связи и каналов телемеханики 100–1200 бит/с.

ВЧ-каналы характеризуются высокой надёжностью, дешевизной, быстротой развёртывания, минимальным временем устранения неисправностей ЛЭП и являются собственностью энергопредприятий.

Сегодня каналы связи в электроэнергетике используются в различных автоматизированных системах: технологического управления (АСТУ), диспетчерского управления (АСДУ), управления технологическими процессами (АСУ ТП), информационно-измерительных коммерческого учёта электроэнергии (АИИС КУЭ), корпоративных информационных системах управления (КИСУ), управления безопасностью (КАСУБ) и других. Каждая из систем накладывает свои требования к каналам связи (скорость передачи данных, задержка, надёжность, поддерживаемые протоколы и интерфейсы и т. д.). Наблюдается тенденция увеличения доли IP-трафика в корпоративных и технологических системах. Поэтому в электроэнергетике актуален вопрос о возможности использования ВЧ-каналов для передачи цифрового трафика.

Параметры ВЧ–трактов

В ВЧ-каналах в качестве среды распространения сигналов используются провода ЛЭП (рис. 1), подключение аппаратуры к которым производится с помощью конденсаторов связи (КС) и фильтров присоединения (ФП). Высокочастотные заградители (ВЗ) ограничивают распространение ВЧ-сигналов в сторону шин подстанций.

ВЧ-тракты как среда распространения сигналов описываются рядом параметров, основные из которых – рабочее затухание ВЧ-тракта, помехи в нём и затухание несогласованности на его окончаниях.

Рабочее затухание ВЧ-тракта – разность уровня ВЧ-сигнала на выходе передатчика при предположении, что его нагрузкой является активное сопротивление 75 Ом, и уровня ВЧ-сигнала на противоположном окончании ВЧ-тракта, также нагруженном на чисто активное сопротивление 75 Ом. Рабочее затухание ВЧ-тракта зависит от ряда факторов: длины ЛЭП, типа и конструкции фазных проводов, конструкции опор, используемых ФП и ВЗ, схемы подключения к проводам ЛЭП и т. д.

Величина рабочего затухания меняется во времени, например в зависимости от климатических факторов или при изменении коммутационного состояния ЛЭП. Наибольшее влияние на величину затухания, особенно с ростом рабочих

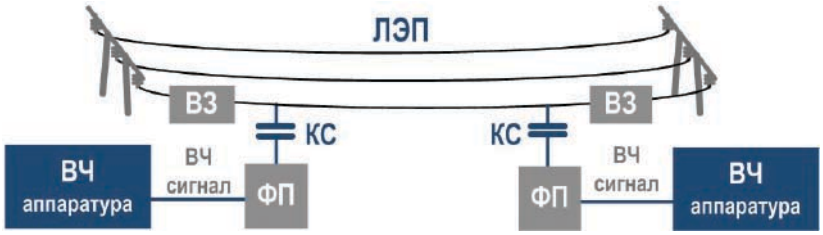


Рис. 1. ВЧ–каналы по ЛЭП 35 кВ и выше

Табл. 1. Помехи в ВЧ–трактах

Тип помехи	Уровень относительно принимаемого ВЧ-сигнала	Длительность
Непрерывные	Могут быть рассчитаны	
Шум от частичных разрядов исправных изоляторов	Низкий, меняется во времени	Постоянно
Шум от коронирования фазных проводов на ВЛ 110 кВ и выше	Низкий, меняется во времени	Постоянно
Сторонние ВЧ- и радиоканалы	Зависит от мощности стороннего передатчика и механизма влияния	Зависит от мешающего канала
Импульсные	Трудно предсказуемые	
Разряд молнии	Высокий	10... 1000 мс
Короткое замыкание: начало горение дуги	 Высокий Средний	 2... 20 мс 100 мс
Коммутация выключателя	Высокий	5... 20 мс
Коммутация разъединителя	Высокий	500... 10000 мс

частот, оказывают гололёдно-изморозевые отложения (рис. 2). Рабочее затухание и его увеличение при гололёде может быть определено по приближённым методикам, приведённым в [1] и [2], или рассчитано с использованием точной методики на базе модальной теории распространения сигналов, например в программе WinTrakt. При однофазных коротких замыканиях (КЗ) на воздушных линиях (ВЛ) нормируемое увеличение затухания ВЧ-тракта составляет 22 дБ при схеме подключения «фаза-земля» [2].

В ВЧ-трактах присутствуют различные помехи, описание которых приведено в табл. 1.

Уровень непрерывных помех имеет вероятностный характер и существенно зависит от погодных условий, но может быть приближённо определён по методикам, приведённым в [1] и [2], или рассчитан по точным методикам, учитывающим распространение ВЧ-сигналов.

Вероятностные параметры импульсных помех практически не предсказуемы, но их наличие следует учитывать при проектировании систем, использующих ВЧ-каналы.

Важным параметром является затухание несогласованности, определяемое на окончаниях ВЧ-тракта (в точках подключения ВЧ-кабелей, идущих от ФП, к аппаратуре). Затухание несогласованности вычисляется по формуле:

$$A_{HC} = 20 \cdot \lg\left(\left|\frac{Z+75}{Z-75}\right|\right),$$

где Z – комплексное сопротивление окончания ВЧ-тракта, и показывает степень отличия сопротивления ВЧ-тракта от номинального значения 75 Ом. Величина затухания несогласованности неравномерна в полосе ВЧ-канала и изменяется во времени, например из-за изменения коммутационного состояния ЛЭП, стрелы провиса проводов ЛЭП и т. д.

Нормируемое значение затухания несогласованности – не менее 12 дБ. Низкое значение затухания

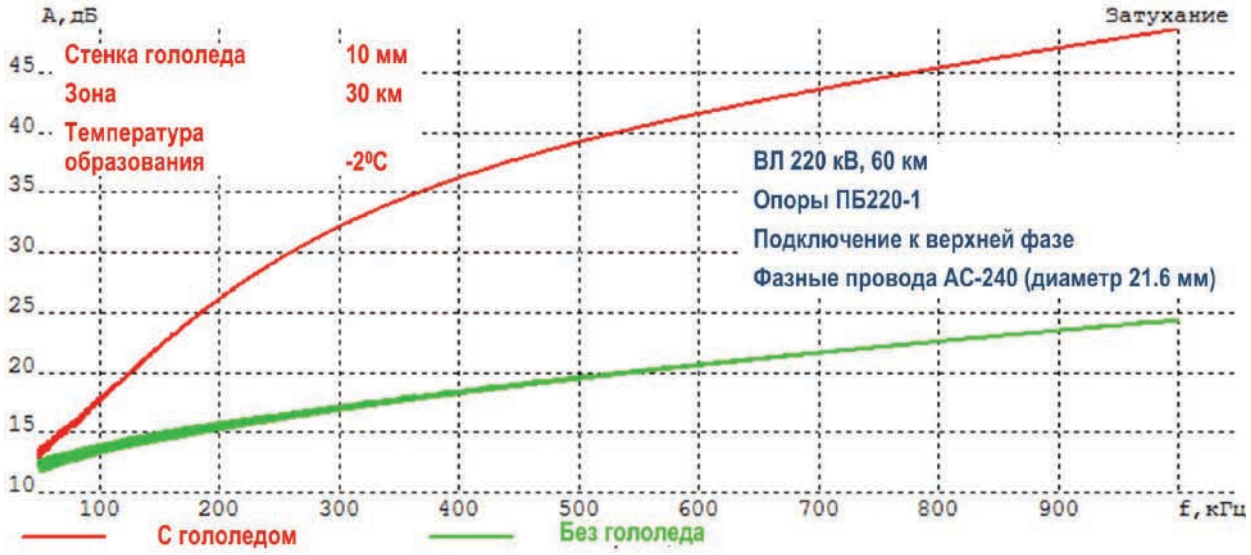


Рис. 2. Пример частотной зависимости затухания ВЧ–тракта

несогласованности приводит к работе усилителей мощности передатчиков ВЧ–аппаратуры во внештатном режиме (нагрев, увеличение внутри и внеполосных интермодуляционных помех). К сожалению, в методиках, приведённых в [1] и [2], затуханию несогласованности практически не уделено внимание, но оно может быть рассчитано, например, в программе Wintrakt.

Аппаратура традиционных аналоговых ВЧ–каналов

Аппаратура аналоговых ВЧ- (АВЧ-) каналов строится с использованием частотного разделения каналов (рис. 3). Базовая ширина полосы АВЧ-канала как по передаче, так и по приёму составляет 4 кГц. Используемая в российской электроэнергетике ВЧ-аппаратура позволяет организовывать от одного до двенадцати АВЧ-каналов.

По АВЧ-каналам организуются двух- или четырёхпроводные телефонные (ТФ) каналы с полосой от 0,3 до 2,0–3,4 кГц с поддержкой внутри- и внеполосной сигнализации. Модемы с частотной манипуляцией (ЧМ) в АВЧ-каналах обеспечивают высокую помехозащищённость, обеспечивая вероятность ошибки 10^{-6} при отношении сигнал/белый шум (ОСШ) около 15 дБ в полосе сигнала, и небольшую задержку 10–20 мс при скорости передачи данных 100–1200 бит/с.

Команды релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА) передаются встроенными в ВЧ-аппаратуру или внешними устройствами передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК). На время передачи команд все каналы в используемой для их передачи полосе отключаются.

Основной функцией пилот-сигнала является автоматическая регулировка усиления (АРУ) в приёмнике для компенсации изменений затухания ВЧ-тракта во времени. Часто, но не всегда, пилот-сигнал используется для работы системы автоматической подстройки частоты (АПЧ) при приёме сигналов. Иногда контрольный/охранный сигнал встроенных УПАСК и пилот-сигнал объединены. Кроме того, пилот-сигнал может быть модулированным для передачи внеполосной ТФ-сигнализации и/или служебных данных.

ЧМ-модемы поддерживают как асинхронные форматы данных (например, согласно ГОСТ Р МЭК 60870-5-101), так и анизохронные форматы протоколов ТМ-800, ГРАНИТ и т. д.. Но малая скорость передачи данных ограничивает область их использования и делает практически невозможной передачу по ним IP-трафика.

Аппаратура Цифровых ВЧ–каналов

Аппаратура цифровых ВЧ- (ЦВЧ-) каналов строится с использованием частотного разделения каналов (рис. 4). Основным элементом ЦВЧ-аппаратуры является синхронный ЦВЧ-модем, который передаёт данные, поступающие с различных интерфейсов. Часто, но не всегда, в ЦВЧ-аппаратуре используется модулированный пилот-сигнал, по которому передаются служебные данные. Кроме того, если аппаратура используется для передачи команд РЗ и ПА, контрольный/охранный сигнал встроенных УПАСК и пилот-сигнал могут быть объединены. На время передачи команд сигналы ЦВЧ-модема прерываются.

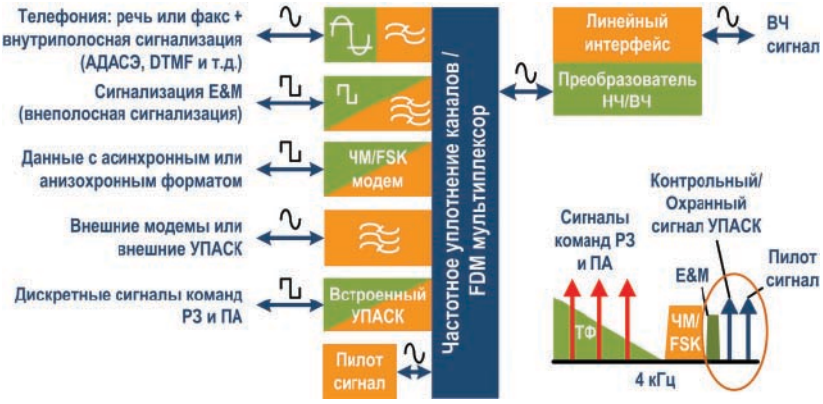


Рис. 3. Архитектура аппаратуры АВЧ–каналов согласно МЭК 62488

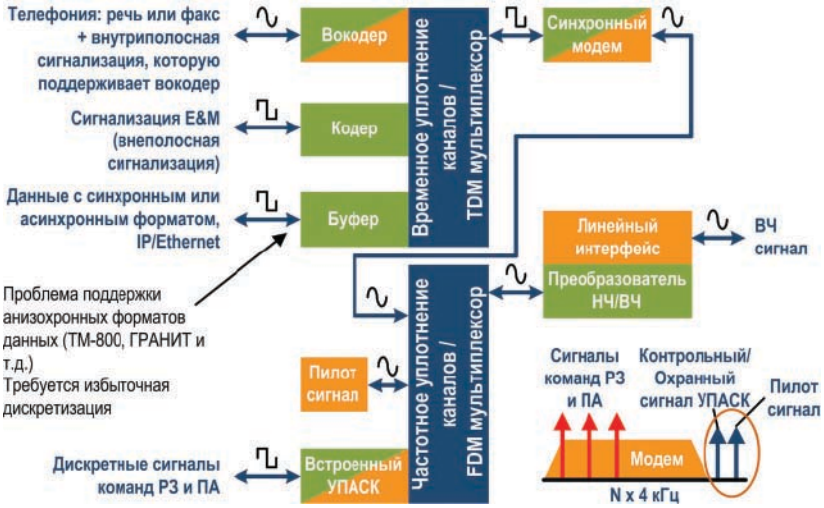


Рис. 4. Архитектура аппаратуры ЦВЧ–каналов согласно МЭК 62488

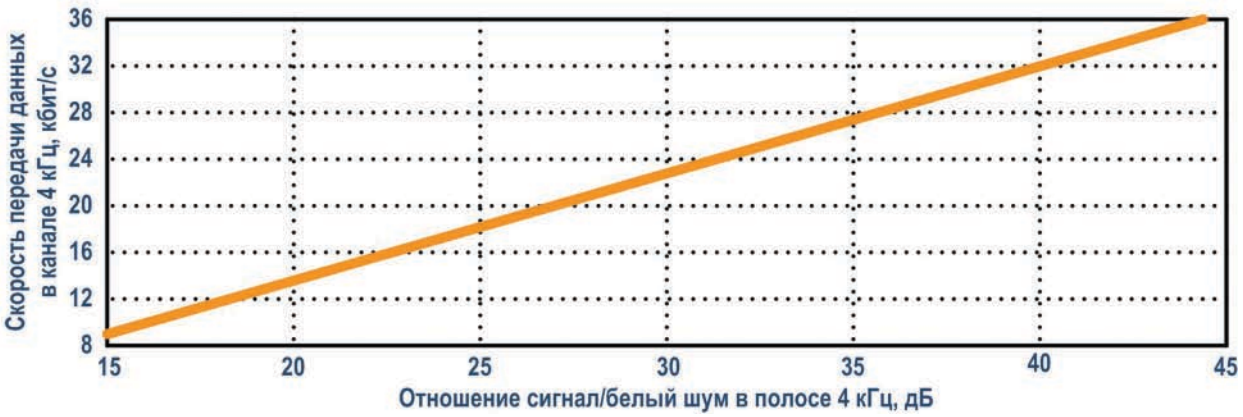


Рис. 5. Скорость передачи данных в ЦВЧ-канале с полосой 4 кГц при вероятности ошибки 10–6

В ЦВЧ-каналах [3] используются более сложные чем в АВЧ модуляции с одной несущей частотой Quadrature Amplitude Modulation (QAM) и с большим числом несущих частот Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) или Multi-Carrier Modulation (MCM). Они обеспечивают более высокую спектральную эффективность по сравнению с ЧМ, что позволяет реализовывать ЦВЧ-каналы с относительно высокой скоростью передачи данных.

Для QAM, обладающей относительной простотой реализации, характерны:

– низкое отношение пиковой мощности сигнала к действующей (достижимо 3–4 дБ);
– небольшая задержка (десятки мс), но больше, чем в ЧМ-модемах;
– меньшая помехозащищённость по сравнению с ЧМ;
– большое время восстановления канала после его прерывания, например после воздействии импульсных помех большой амплитуды при коммутации разъединителей;
– чувствительность к отраженным ВЧ-сигналам, возникающим на ЛЭП (отражения от мест ответвлений и т. д.), что приводит к искажениям амплитудной и фазовой характеристик ВЧ-тракта и необходимости использования сложных эквалайзеров, увеличивающих задержку;
– чувствительность к сосредоточенным по спектру и импульсным помехам, помехам от коронирования проводов ЛЭП, что требует специальной сложной обработки для уменьшения их влияния и соответственно увеличивает задержку.

Более сложной в реализации OFDM/MCM присущи:

– высокое отношение пиковой мощности сигнала к действующей (порядка 10 дБ);
– большая задержка (при полосе канала 4 и 8 кГц может достигать сотен мс, растёт при увеличении числа несущих частот);
– меньшая помехозащищённость по сравнению с ЧМ;
– большое время восстановления канала после его прерывания;
– устойчивость к возникающим на ЛЭП отражённым сигналам (не требуется сложный эквалайзер);
– устойчивость к сосредоточенным по спектру помехам за счёт возможности отключения поражённых помехой подканалов;
– устойчивость по сравнению с QAM к импульсным помехам и «короне»;
– чувствительность к сдвигу частоты и фазовому шуму.

Следует отметить, что ВЧ-аппаратура может поддерживать организацию как АВЧ-, так и ЦВЧ-каналов.

Цифровые ВЧ-каналы

ЦВЧ-каналам присущи свои особенности, которые отличают их от других каналов, например от цифровых систем передачи информации (ЦСПИ) по волоконно-оптическим кабелям (ВОК).

На рис. 5 приведён пример зависимости скорости в ЦВЧ-канале с полосой 4 кГц от ОСШ. Достигнуть скорости более 24 кбит/с в ЦВЧ-канале с полосой 4 кГц довольно сложно, так как для этого необходимо обеспечить отношение ОСШ 32 дБ (для сравнения, в аналоговом ТФ-канале нормируемое ОСШ составляет 26 дБ). А с учётом нестационарной природы помех от «короны» данное значение увеличится на 5–7 дБ в зависимости от реализации ЦВЧ-аппаратуры и напряжения ЛЭП. Расширение полосы ЦВЧ-канала, что не всегда осуществимо на практике, позволяет увеличить скорость передачи данных при том же ОСШ и уменьшить его задержку.

В методике проектирования [2] в качестве номинального уровня помех выбран уровень с 50-процентной вероятностью его превышения (слабый дождь). Нормируемый запас по затуханию для ЦВЧ-канала установлен равным 9 дБ без учёта гололёда

(сильный дождь). Согласно графику из [1] (рис. 6), при этом обеспечивается коэффициент готовности ЦВЧ-канала около 0,97.

Для аналогового ТФ-канала такой выбор коэффициента готовности приводит к тому, что он становится несколько «шумным» в некоторые периоды времени, но поддерживать разговор по нему по-прежнему можно. Для ЦВЧ-каналов такое допущение неприемлемо, так как уменьшение ОСШ на 3–5 дБ относительно нормируемого значения приведёт к его полному отказу (рис. 7) – вероятность ошибок превысит 10^{-3}.

Для организации ЦВЧ-канала с коэффициентом готовности, например, не менее 0,99–0,995 необходим запас по затуханию порядка 11–12 дБ, что требует изменения существующей методики проектирования ЦВЧ-каналов в [2].

При фиксированной скорости передачи данных в ЦВЧ-каналах существует риск потери всех каналов из-за неблагоприятных погодных условий или гололёдно-изморозевых отложениях. Уменьшить данный риск позволяет использование адаптации скорости передачи данных в ЦВЧ-каналах (рис. 8). При данной адаптации возможны включение/выключение низкоприоритетных каналов и увеличение/уменьшение скорости в каналах передачи данных, например, в Ethernet-каналах.

Таким образом, при построении систем с использованием ЦВЧ-каналов необходимо учитывать:

– ограничения по скорости передачи данных и задержку;
– отказ каналов из-за увеличения затухания ВЧ-трактов при КЗ на ЛЭП и прерывания передачи данных вследствие воздействий больших импульсных помех, изменений коммутационного состояния ЛЭП или, если используется, передачи команд РЗ и ПА.

Прерывания ЦВЧ-каналов при импульсных помехах и отказ при КЗ на ЛЭП делают крайне затруднительным их использование в быстродействующих онлайновых системах при необходимости обеспечения высокого коэффициента готовности, например в системах РЗА. В тоже время не существует неустранимых ограничений для их использования в системах, где не требуется высокое быстродействие, и в офлайн-системах, например для скачивания архивов из регистраторов событий.

Оптимизация передачи IP трафика

IP для передачи данных в технологических системах электроэнергетики часто обладает большой избыточностью. Реализация в аппаратуре ЦВЧ-каналов алгоритмов сжатия IP-заголовков может существенно повысить их пропускную способность, что крайне важно, учитывая сложность обеспечения высокой скорости передачи данных. Так, метод сжатия заголовков TCP/IP Ван Якобсона (RFC 1144) позволяет уменьшить 40-байтный заголовок до 3–4 байт, что может существенно повысить эффективность передачи данных по протоколу ГОСТ Р МЭК 60870-5-104. Повышение эффективности передачи речи и видео может быть достигнуто использованием Robust Header Compression (ROCH), что позволяет уменьшить заголовки UDP/IP и RTP/UDP/IP до 1–3 байт.

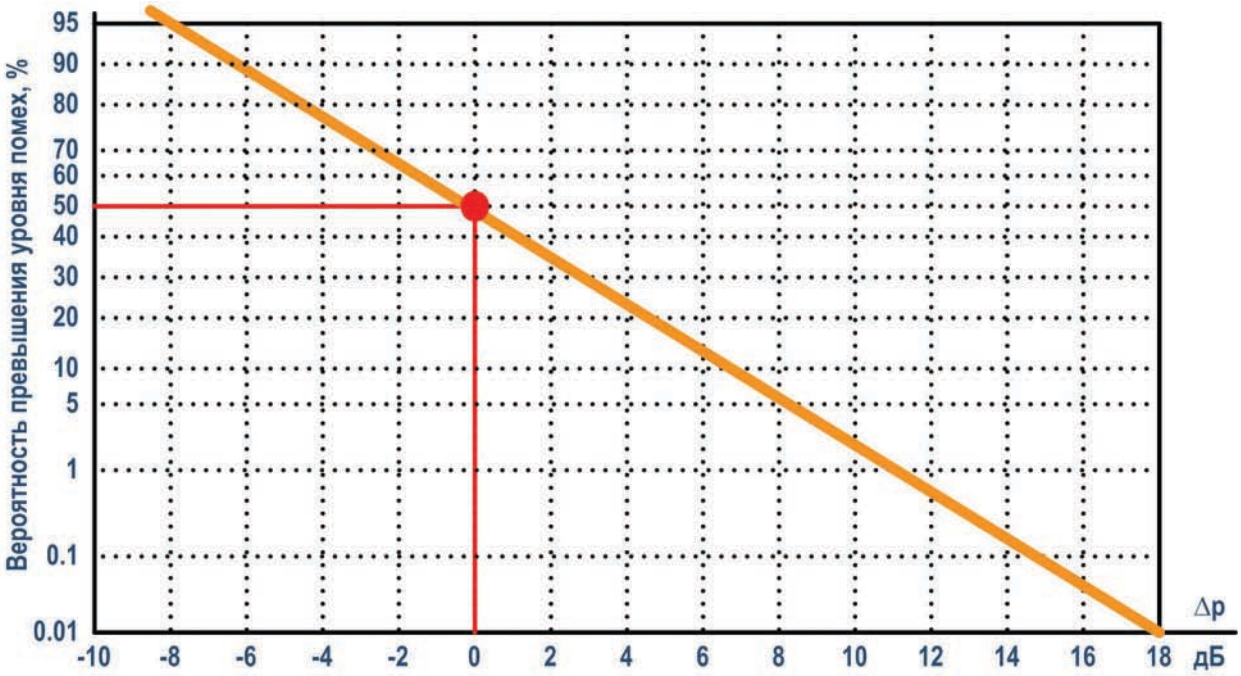


Рис. 6. Вероятность превышения номинального уровня шумов ЛЭП

Реализация в аппаратуре ЦВЧ-каналов функций маршрутизации позволяет исключить передачу по ЦВЧ-каналу с ограниченной полосой нежелательного IP-трафика и обеспечить приоритизацию данных в IP-трафике при адаптации скорости.

Функции сжатия IP-заголовков и маршрутизации могут быть реализованы как в самой ЦВЧ-аппаратуре, так и во внешнем маршрутизаторе, подключаемом к ней, например, по интерфейсу X.21.

Рис. 7. Пример зависимости вероятности ошибок в ЦВЧ–канале от ОСШ

Информационная безопасность

В последние годы в электроэнергетике встал вопрос обеспечения информационной безопасности (ИБ). На канальном уровне съём информации с ЦВЧ-канала затруднителен, так как разные производители используют собственные нестандартные методы модуляции и схемы мультиплексирования, и ЦВЧ-канал сложно вывести из строя методами радиоэлектронной борьбы, так как для этого требуются большие мощности передатчиков.

Упростить обеспечение ИБ на уровне оборудования и систем позволяет:

- исключение удалённого доступа с правами управления (для эксплуатации и технического обслуживания ЦВЧ-каналов он не обязателен);
- физическое разнесение в ЦВЧ-аппаратуре портов управления, мониторинга и передачи данных;
- существующая практика реализации ЦВЧ-аппаратуры без использования операционных систем;
- существующая практика использования нестандартных схем организации служебных и управляющих каналов в ЦВЧ-аппаратуре, что усложняет несанкционированный доступ.

Организация ЦВЧ–каналов по кабельным линиям

Традиционно ВЧ-каналы организовывались по ВЛ 35 кВ и выше. Сегодня на данных классах напряжения всё более широко используются кабельные линии (КЛ), ВЧ-параметры которых отличаются от параметров ВЛ. Основное отличие – разные характеристические сопротивления КЛ и ВЛ. Для ВЛ оно составляет 200–700 Ом и зависит в основном от конструкции фазных проводов, а для КЛ – 20–50 Ом и определяется диаметром проводника, внутренним диаметром экрана и материалом внутренней изоляции. Использование при подключении к КЛ стандартных ФП для ВЛ приведёт:

- к увеличению затухания ВЧ-тракта;
- к большой неравномерности частотных характеристик ВЧ-такта из-за стоячих волн ВЧ-сигнала в КЛ;
- к существенному отличию сопротивления ВЧ-тракта от 75 Ом (низкому затуханию несогласованности), что приведёт к работе усилителей мощности передатчиков ВЧ-аппаратуры во внештатном режиме (нагрев, увеличение внутри- и внеполосных интермодуляционных помех).

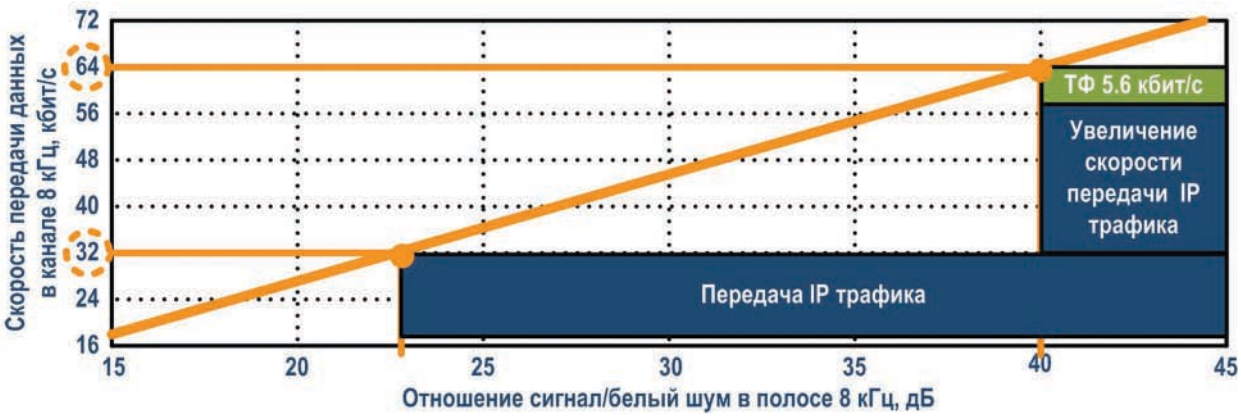


Рис. 8. Адаптация скорости передачи данных

Поэтому для подключения к КЛ надо применять нестандартные ФП, сопротивление которых со стороны линии можно оценить по формуле:

$$Z_{КЛ} = 20\frac{138}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \lg\left(\frac{D}{R}\right),$$

где D – внутренний диаметр экрана, R – диаметр проводника, ε_r – диэлектрическая проницаемость внутренней изоляции.

Применение для подключения к КЛ нестандартных ФП с согласованным сопротивлением со стороны линии позволяет организовывать по ним ВЧ-тракты с приемлемыми для организации ЦВЧ-каналов параметрами.

При организации ЦВЧ-каналов по воздушно-кабельным линиям (ВКЛ) в местах перехода КЛ/ВЛ для уменьшения затухания, обеспечения равномерности частотных характеристик и увеличения затухания несогласованности ВЧ-трактов необходимо использование согласующих устройств (рис. 9). При этом для подключения к ВЛ используются стандартные ФП, а к КЛ – нестандартные с согласованным сопротивлением со стороны линии.

Случай, когда экраны КЛ только заземлены с обеих сторон (рис. 10.а), идеален с точки зрения организации ВЧ-каналов, расчёт которых может быть проведён по приближённым методикам. Но при этом в экранах КЛ протекают токи промышленной частоты, что приводит к потерям электроэнергии. Для исключения потерь экраны КЛ заземляют только с одной стороны (рис. 10.b) или транспонируют (рис. 10.с). В среде распространения ВЧ-сигналов появляются существенные неоднородности, которые приводят к большим неравномерностям частотных характеристик ВЧ-трактов и низкому затуханию несогласованности на его окончаниях. В данных случаях расчёт параметров ВЧ-трактов по приближённым методикам не представляется возможным и требует использования точных методик на базе модальной теории распространения сигналов. Следует отметить, что при заземлении экранов КЛ с одной стороны или наличии их транспозиций для реализации ЦВЧ-каналов предпочтительней использовать аппаратуру с OFDM/MCM, так как она более устойчива к искажениям частотных характеристик ВЧ-трактов.

В [1] и [2] организация ЦВЧ-каналов по КЛ или ВКЛ практически не рассмотрена и при их реализации требуется высокая квалификация сотрудников проектной организации.

ЦВЧ–каналы и ЦСПИ по ВОК

Широкое распространение в технологических и корпоративных системах электроэнергетики получили системы с использованием ЦСПИ по ВОК, в которых применяются различные технологии (SDH/PDH, MPLS и т. д.). ЦСПИ по ВОК, так же как и ЦВЧ-каналы, имеют свои достоинства и недостатки. В табл. 2 приведено их сравнение.

Совместное использование ВЧ-каналов и ЦСПИ по ВОК может нивелировать их недостатки, как это, например, показано на рис.11. Здесь на ответвлении от кольца SDH организован параллельный ВЧ-канал, по которому резервируются каналы с высокими требованиями к коэффициенту готовности.

Кольцо SDH позволяет резервировать весь передаваемый по нему трафик: каналы РЗА, все ТФ-каналы и все каналы передачи данных. По ВЧ-каналу на ответвлении зарезервировать весь передаваемый по ЦСПИ трафик невозможно, но резерв каналов РЗА, диспетчерских ТФ-каналов и относительно низкоскоростных каналов передачи данных с высокими требованиям к надёжности реализуем.

Следует отметить, что надёжность резервирования по ЦСПИ и ВЧ-каналу выше, чем резервирование по кольцу SDH, так как при этом:

– используются разные среды распространения сигналов;
– применяется разное каналообразующее оборудование.

Заключение

Таким образом:

– при принятии решения о возможности использования ЦВЧ-каналов в какой-либо системе электроэнергетики необходимо учитывать их специфические особенности, которые в том числе зависят от типа ВЧ-аппаратуры (модуляции в ЦВЧ-модеме и т. д.);

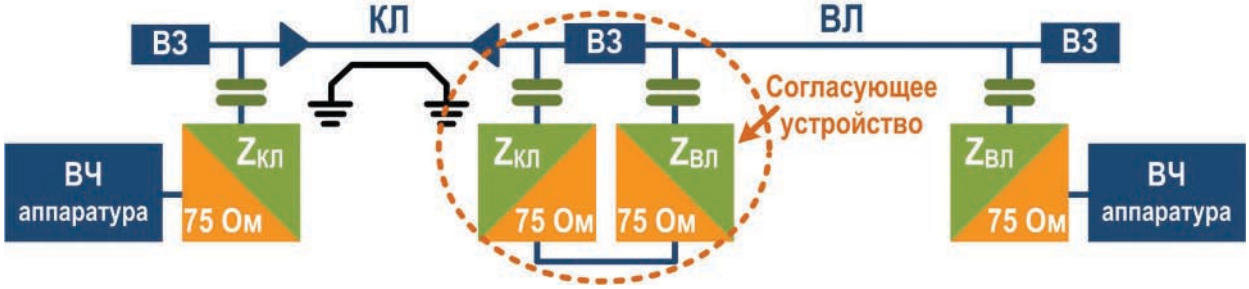


Рис. 9. Использование согласующего устройства на переходе КЛ/ВЛ

– адаптация скорости передачи данных позволяет более эффективно использовать ЦВЧ-каналы;
– эффективность передачи IP-трафика по ЦВЧ-каналам может быть достигнута использованием в них методов сжатия IP-заголовков и маршрутизации;
– проблемы обеспечения ИБ в ЦВЧ-каналах решаемы простыми методами;
– при заземлении КЛ с двух сторон нет неустранимых препятствий для организации по ним ЦВЧ-каналов;
– при заземлении экранов КЛ с одной стороны или их транспозициях организация ЦВЧ-каналов затруднительна из-за искажений частотных характеристик, но возможна;
– совместное использование ЦВЧ-каналов и ЦСПИ по ВОК позволяет нивелировать их недостатки.

Это делает перспективным использование ЦВЧ-каналов в ряде систем электроэнергетики.

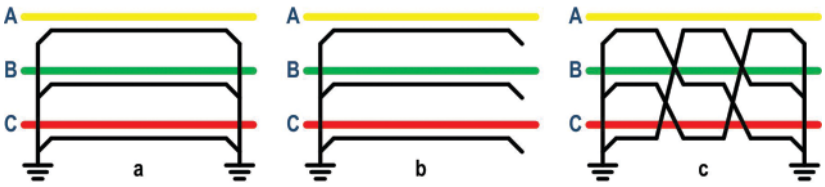


Рис. 10. Заземление экранов КЛ

Литература

1. СТО 56947007-33.060.40.052-2010. Методические указания по расчёту параметров и выбору схем высокочастотных трактов по линиям электропередачи 35–750 кВ переменного тока.

2. СТО 56947007-33.060.40.045-2010. Руководящие указания по выбору частот высокочастотных каналов по линиям электропередачи 35, 110, 220, 330, 500 и 750 кВ.

3. IEC 62488-1. Power line communication systems for power utility applications – Part 1: Planning of analogue and digital power line carrier systems operating over EHV/HV/MV electricity grids.

Табл. 2. Сравнение ЦВЧ–каналов и ЦСПИ по ВОК

ЦВЧ-каналы по ЛЭП		ЦСПИ по ВОК	
+	Большая протяжённость без ретрансляторов	–	Ограниченная протяжённость без ретрансляции (за разумную стоимость)
+	Быстрое устранение неисправностей ЛЭП	–	Иногда неопределённо большое время устранения неисправностей ВОК
–	Влияние электромагнитных помех на среду распространения сигналов	+	Устойчивость среды распространения сигналов к электромагнитным помехам
+	Использование существующей надёжной среды распространения сигналов	–	Потребность в дополнительных инвестициях для прокладки ВОК
–	Небольшое число каналов и ограниченная пропускная способность	+	Большое число каналов и высокая скорость передачи данных
–	Большая задержка в каналах	+	Небольшая задержка в каналах
+	Высокая информационная безопасность на уровне каналов и при отсутствии удалённого доступа с правами управления на уровне оборудования и системы	–	Низкая информационная безопасность как на уровне каналов, так и на уровне оборудования, системы и систем управления

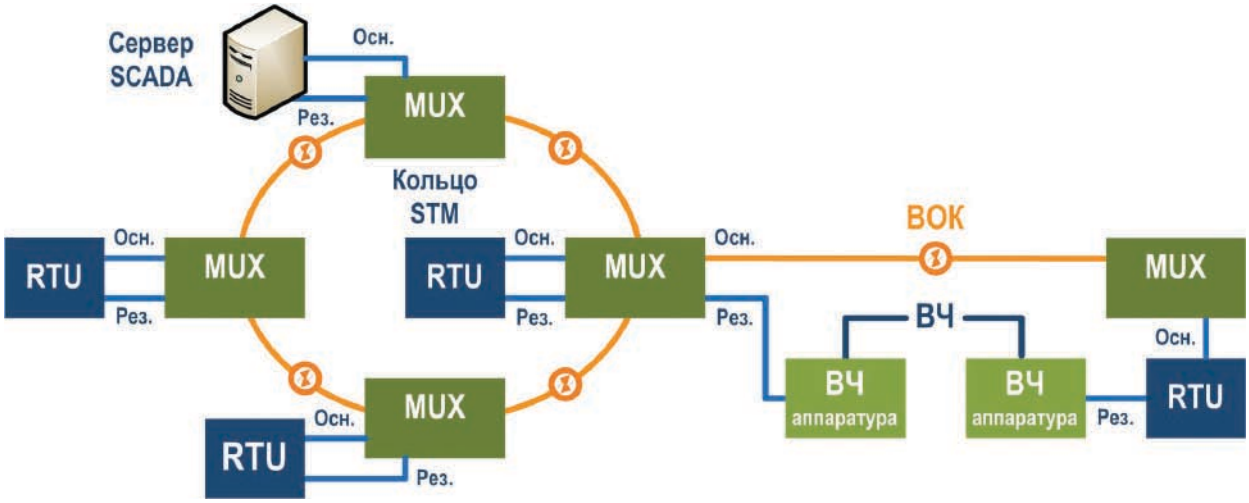


Рис. 11. Совместное использование ЦВЧ–каналов и ЦСПИ по ВОК

Оксана Соловьева, Андрей Соболев, САП СНГ

Технологии SAP для построения IT–OT–интеграционной платформы и управления Big Data в Энергетике

В данной статье констатируется тот факт, что в настоящее время «интеллектуализация» сетей рассматривается в качестве основного пути преодоления тех вызовов, которые уже возникают перед электросетевыми компаниями в процессе начавшихся сейчас изменений в экономике, в регулировании, в модели производства и потребления энергии. Кроме того, тренд на «интеллектуализацию» характерен и для многих других отраслей экономики. Понимая это, компания SAP установила в качестве одной из своих стратегических целей разработку решений, которые можно использовать для повышения «интеллектуальности» отдельных бизнес-процессов компаний из различных секторов экономики. Для электросетевых компаний мы видим наибольший потенциал повышения их «интеллектуальности» в использовании технологической информации для решения их актуальных бизнес-задач. Этот подход называется IT-OT-интеграцией. В данной статье мы расскажем о технологической платформе SAP HANA, которую SAP предлагает использовать для построения IT-OT-интеграционной платформы электросетевой компании, и о приложениях, реализованных на этой платформе и предназначенных для интеллектуального анализа Больших Данных, коими является технологическая информация.

Интеллектуальная электроэнергетика – следующий этап развития электроэнергетики

Российский рынок энергетики меняется динамично. Развитие малой генерации и децентрализация генерирующих мощностей, старение активов и дефицит квалифицированных кадров, высокие коммерческие потери и ужесточение требований регуляторов – все эти факторы оказывают существенное влияние на электросетевые компании, которым становится всё сложнее поддерживать баланс между своими стратегическими целями – обеспечением надёжного энергоснабжения, повышением операционной прибыльности и сохранением устойчивого развития. Экстенсивный путь развития электросетевого комплекса уже не обеспечивает растущие потребности экономики страны, поэтому в 2010 году был запущен проект «Интеллектуальная энергетическая система России», основная цель которого – содействие внедрению в российской электроэнергетике интеллектуальных технологий и формирование «умной» энергосети. По этому же пути развивается электроэнергетика в остальном мире, где активно разрабатываются и реализуются проекты Smart Grids.

«Интеллектуализация» электросетевого комплекса подразумевает создание электрических сетей нового поколения, которые будут использовать информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве, энергопередаче и энергопотреблении, позволяющей автоматически обеспечивать необходимую надёжность и устойчивость распределения электроэнергии при одновременной максимизации экономической выгоды. Создание интеллектуальной энергетической системы является стратегической задачей, рассчитанной не на одно десятилетие и требующей для своего решения новой промышленной и технологической базы. Тем не менее некоторые элементы «интеллектуальности» в электрических сетях можно реализовать уже сейчас, и именно об этом пойдёт речь в данной статье.

«Интернет Вещей» как базис для «интеллектуализации» энергосетей

«Интеллектуализация» электроэнергетики не является уникальным явлением, по аналогичному пути движутся и многие другие отрасли экономики, такие как нефтегазовая промышленность, металлургия, тяжёлая промышленность и прочие. Разумеется, в каждой отрасли «интеллектуализация» имеет свою специфику. Однако общий подход к «интеллектуализации» остаётся неизменным – она всегда предполагает использование коммуникационных сетей для сбора информации о производственном процессе и анализ этой информации с целью (автоматической) оптимизации этого процесса. Этот аспект «интеллектуализации» сближает её с понятием «Интернета Вещей».

Согласно определению компании IDC, *Интернет Вещей (Internet of Things, IoT)* – это проводная или беспроводная сеть, соединяющая устройства, которые имеют автономное обеспечение и управляются интеллектуальными системами... Из этого определения следует, что «Интернет Вещей» является, в каком-то смысле, базисом для «интеллектуализации», то есть, внедряя технологии «Интернета Вещей» на каком-либо предприятии, мы последовательно повышаем «интеллектуальность» этого предприятия. И если до построения интеллектуальных сетей ещё далеко, то проникновение технологий «Интернета Вещей» в бизнес, в том числе и в электроэнергетику, мы можем наблюдать уже сейчас. Для неспециалистов это незаметно, так как «Интернет Вещей» является базовым понятием, которое обычно остаётся в тени конкретной технологии. На самом деле многие технологические нововведения можно отнести к «Интернету Вещей». Например, в марте 2015 года была создана новая рабочая группа CIGRE TOR-WG B3.44 «Обслуживание и контроль работы подстанций с использованием мобильных устройств и интеллектуального мониторинга». И только в самом тексте заявки можно найти, что «группа будет изучать перспективы и преимущества использования интеллектуального мониторинга (то есть технологии «Интернета Вещей») для обслуживания оборудования подстанций».

Мы уделяем такое большое внимание «Интернету Вещей» в этой статье потому, что для компании SAP поддержка технологий «Интернета Вещей» в своих решениях – одно из стратегических направлений развития. Далее мы более подробно расскажем об этих решениях. С другой стороны, как показано выше, «Интернет Вещей» имеет прямое отношение к «интеллектуализации» электроэнергетики, что позволяет нам предлагать наши решения как для «Интернета Вещей», так и для решения задач по повышению «интеллектуальности» сетей.

IT–OT–интеграционная платформа для электросетевой компании

Ключевым для нас элементом «Интернета Вещей» является интеллектуальная система, которую мы представляем в виде интеграционной платформы, обеспечивающей сбор и обработку данных с сотен тысяч устройств и датчиков, и набора интеллектуальных приложений, которые анализируют собираемые данные и управляют устройствами. Такая архитектура интеллектуальной системы делает её более гибкой и открытой для расширения функциональности.

Таким образом, необходимым шагом на пути внедрения технологий «Интернета Вещей» в электросетевой компании является построение интеграционной платформы, которая объединит все технологические устройства и системы компании, такие как интеллектуальное оборудование (умные сети, цифровые подстанции), Smart Meters, АСКУЭ, АСУТП, и бизнес-системы компании, такие как ERP, CRM,Г ИС и прочие. Сегодня типовой ситуацией во многих энергокомпаниях является разрыв между технологическими системами (Operations Technology – OT) и бизнес-системами (Information Technology – IT), поэтому построение такой IT-OT-интеграционной платформы является актуальной задачей для большинства электросетевых компаний.

Интеллектуальные приложения

IT-OT-интеграционная платформа даёт возможность строить приложения двух новых типов, которые мы будем называть интеллектуальными.

- Первый тип – это приложения, использующие OT-данные в IT, то есть это бизнес-приложения, использующие технологические данные.
- Второй тип – это приложения, использующие IT-данные в OT, то есть это технологические приложения, использующие бизнес-данные.

Компания SAP активно работает над созданием приложений первого типа (причём не только для энергетики, но и для других отраслей). Далее мы более подробно рассмотрим актуальные задачи электросетевых компаний и приложения SAP, с помощь которых эти задачи можно решить.

Приложения второго типа компания SAP не разрабатывает, так как технологические решения – не ниша SAP. Кроме того, эти приложения предъявляют жёсткие требования к элементам «Интернета Вещей»:

1) отклик в реальном времени,
2) надёжность связи,
3) безопасность связи (кибербезопасность).

Сегодняшние технологии пока не позволяют обеспечить полное выполнение всех этих требований, поэтому говорить о перспективах промышленного

использования приложений второго типа ещё рано. В качестве примера здесь можно привести концепцию Smart Grids, которая предполагает активное использование таких приложений.

Анализ «Больших Данных» как средство для повышения «интеллектуальности» сетей

Как говорилось выше, задача IT-OT-интеграционной платформы – сбор и обработка всей возможной информации о производственном процессе электросетевой компании, а задача интеллектуальных приложений – анализ этой информации с целью повышения эффективности производственного процесса. Большую часть этой информации составляет технологическая информация, необходимая для эксплуатации сетей (данные мониторинга состояния оборудования, регистрации аварийных событий и процессов, контроля качества электроэнергии и др.). Объём и важность этой информации вполне позволяют отнести её к «Большим Данным» (Big Data). Таким образом, при реализации элементов «интеллектуальности» в сетях мы естественным образом приходим к необходимости анализировать «Большие Данные».

Актуальные «интеллектуальные» задачи электросетевых компаний

Повышение «интеллектуальности» сетей – не самоцель, это средство для достижения электросетевыми компаниями своих стратегических целей в текущих и будущих экономических и рыночных условиях. Как уже говорилось выше, полный переход на интеллектуальные сети – дело отдалённого будущего, однако ничто не мешает электросетевым компаниям уже сегодня использовать некоторые элементы «интеллектуальности» для оптимизации отдельных бизнес-процессов и повышения качества управленческих решений, то есть, в конечном итоге, для обеспечения необходимого уровня надёжности энергоснабжения и повышения операционной эффективности. Ниже приведены некоторые примеры бизнес-задач, направленных на достижение этих стратегических целей, для решения которых требуется интеллектуальный анализ технологических данных.

- Повышение надёжности оборудования/энергосистемы за счёт проактивного технического обслуживания:
  - вывод оборудования из работы, не дожидаясь аварийных режимов, за счёт своевременного выявления негативных тенденций;
  - планирование периодичности и объёмов ремонтов и техобслуживания исходя из фактического износа оборудования.
- Оптимизация затрат на ТОиР/инвестиций в оборудование:
  - долгосрочное планирование затрат на ТОиР по каждой единице оборудования;
  - планирование инвестиций в оборудование с учётом фактического состояния активов (под-

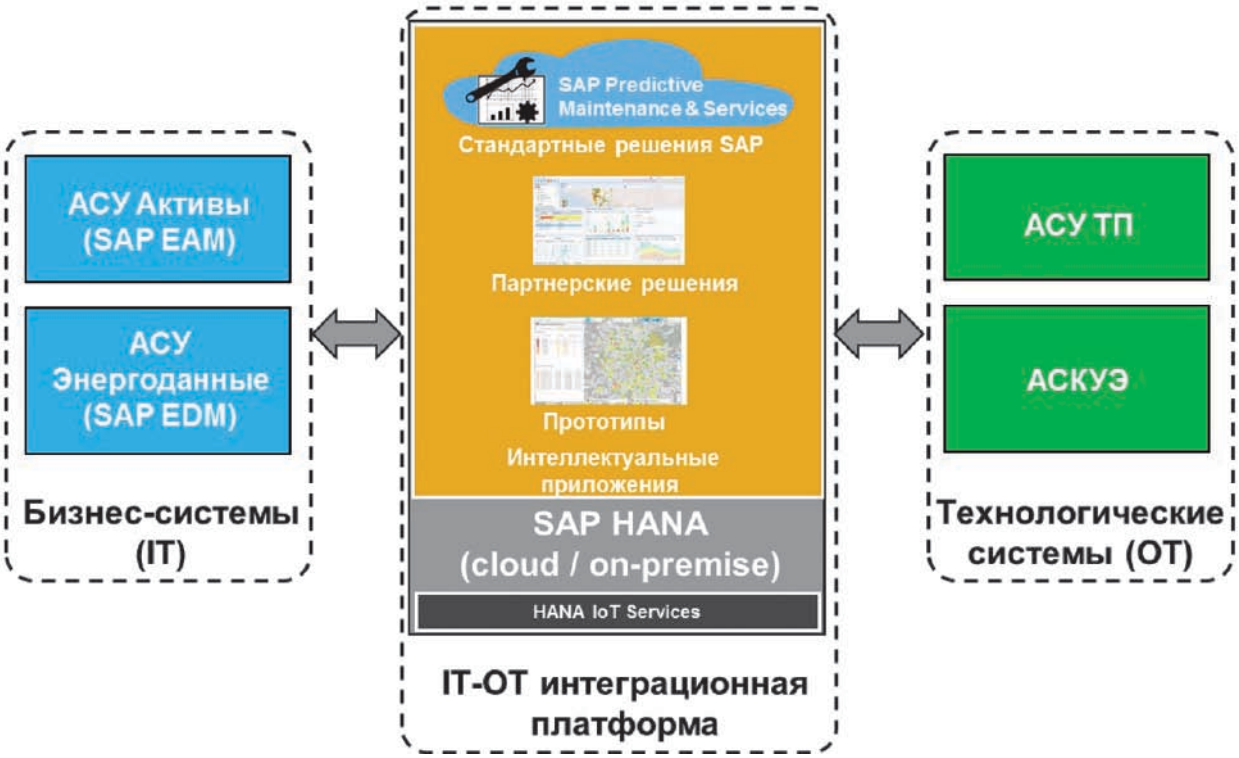


Рис. 1. Архитектура IT–OT–интеграционной платформы на базе решений SAP

держка принятия решений о продлении эксплуатации или замене оборудования на основе оценки технического состояния, остаточного ресурса и рисков).

– Снижение коммерческих и технологических потерь/повышения энергетической эффективности за счёт углубленного анализа профилей потерь.
– Оптимизация затрат на развитие энергосистемы за счёт анализа банков мощности:
  –– определение «свободной» мощности на подстанции с целью дальнейшего перераспределения свободной мощности на новые технологические присоединения;
  –– учёт пиков нагрузки и прогноза нагрузки на ПС при планировании развития сети.
– Увеличение надёжности энергосистемы за счёт увеличения качества электроэнергии:
  –– контроль показателей качества электроэнергии (в соответствии с существующей НТД);
  –– определение источника искажения.

Кроме перечисленных бизнес-задач необходимо также упомянуть следующие научно-технические задачи:

– Расчёт индекса состояния оборудования (оценка фактического износа / остаточного срока службы).
– Расчёт индекса критичности оборудования (оценка последствий отказа).

Решения этих задач представляют собой методики расчёта соответствующих показателей, которые должны быть имплементированы в решениях бизнес-задач. Насколько нам известно, в настоящее время общепринятых решений этих задач не существует, поэтому они решаются «в частном порядке» отдельными энергокомпаниями.

Архитектура IT–OT–интеграционной платформы на базе решений SAP

Высокоуровневая архитектура IT-OT-интеграционной платформы для электросетевой компании представлена на рис. 1. Архитектура включает в себя саму интеграционную платформу, в качестве которой предлагается использовать технологическую платформу SAP HANA, и набор интеллектуальных приложений, реализованных на SAP HANA.

Платформа SAP HANA удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к интеграционной платформе: она обеспечивает высокую скорость обработки больших объёмов данных и имеет встроенные возможности для обработки и углублённого анализа данных. Кроме того, сейчас SAP активно разрабатывает специальную версию SAP HANA для «Интернета Вещей» – SAP HANA IoT edition, которая отличается от обычной наличием коннекторов к различным устройствам, наличием встроенных модулей для управления сбором данных с этих устройств и расширенными возможностями по обработке потоковых данных. Более подробно о технологической платформе SAP HANA будет рассказано в следующем разделе.

Создание эффективных интеллектуальных бизнес-приложений, использующих технологические данные, является достаточно сложной задачей, так как:

1) эта область IT является новой как для энергокомпаний, так и для производителей программного обеспечения,

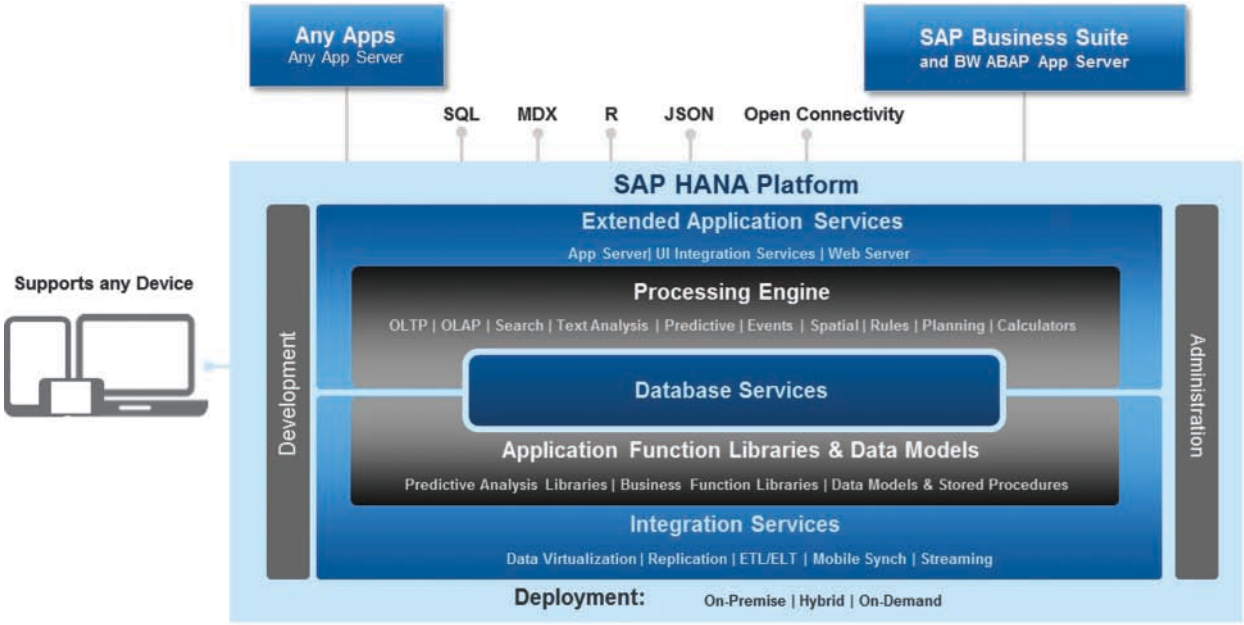


Рис. 2. Платформа SAP HANA

2) для создания таких приложений требуются как глубокие математические знания (прежде всего в статистике, в теории машинного обучения), так и глубокие технические и практические знания в области электротехники и энергетических систем,

3) эта область IT пересекается с зарегулированным миром технологических устройств и систем.

Именно поэтому сейчас почти все интеллектуальные приложения SAP разрабатываются при тесном сотрудничестве компании SAP и наших партнёров/клиентов в энергетике. Компания SAP привносит в это партнёрство свою технологическую платформу и компетенции в области математического анализа данных (о подразделении SAP Data Science будет рассказано позже), а наши партнёры/клиенты в энергетике привносят свой практический опыт и знания предметной области.

Более подробно о существующих и разрабатываемых интеллектуальных приложениях будет рассказано в следующих разделах.

SAP HANA – технологическая платформа для интеллектуального анализа «Больших Данных»

SAP HANA (High-performance ANalytic Appliance) – это программно-аппаратный комплекс, в основе которого лежит база данных с технологией хранения и обработки данных in-memory. Особенности SAP HANA:

- Данные хранятся и обрабатываются непосредственно в *оперативной памяти*.
- *Поколоночное хранение* данных позволяет оптимизировать запросы и существенно увеличить производительность системы.
- Существенное *сжатие данных* достигается за счёт поколоночного хранения и минимального использования индексов.
- Имеются встроенные инструменты для работы с потоковыми данными, для управления жизненным циклом информации, для обеспечения безопасности и поддержки масштабируемости.
- Имеются встроенные библиотеки функций для прогнозирования (предиктивного анализа), геопространственного анализа и анализа текстов. Поддерживается интеграция с библиотекой R.
- Имеются встроенные инструменты для разработки HTML5-приложений, а также API для интеграции с внешними приложениями.

Более подробно архитектура платформы SAP HANA представлена на рис. 2.

Таким образом, SAP HANA – это

1. Универсальная база данных, объединяющая достоинства OLTP- и OLAP-систем.

2. Платформа для работы с Big Data:

- сбор данных из различных источников, включая потоковые данные;
- сжатие данных;
- выполнение тяжёлых ресурсоёмких вычислений на уровне базы данных, что позволяет значительно увеличить производительность приложений за счёт экономии на передаче данных и выполнения всех расчётов в оперативной памяти.

3. Платформа для разработки приложений.

Интеллектуальная аналитика SAP

Помимо технологической платформы SAP HANA компания SAP предлагает также полный набор аналитических инструментов, предназначенных для всестороннего исследования данных и визуализации результатов:

- SAP BusinessObjects BI – для быстрого доступа ко всем данным предприятия, получения оперативной отчётности и принятия взвешенных управленческих решений.
- SAP Lumira – для углублённого исследования данных.
- SAP InfiniteInsight – для интеллектуального исследования данных и поиска скрытых взаимосвязей/закономерностей. Это решение позволяет извлечь максимум полезной информации из имеющихся данных и значительно увеличить качество управленческих решений.

Как уже упоминалось выше, интеллектуальный анализ данных является непростой задачей, требующей глубоких знаний в нескольких математических дисциплинах. Именно поэтому внутри SAP существует подразделение Data Science, которое объединяет в себе более 100 специалистов – исследователей данных. Специалисты SAP Data Science обладают уникальным опытом и квалификацией в области работы с данными. Основная их задача – помощь нашим клиентам в получении максимального эффекта/выгод от имеющихся у них данных.

Интеллектуальные приложения на платформе SAP для электросетевых компаний

Ниже приведены некоторые примеры существующих или находящихся в стадии разработки интеллектуальных приложений SAP для электросетевых компаний, а также примеры интеллектуальных приложений партнёров и клиентов SAP в энергетике, реализованных на платформе SAP.

1. SAP Predictive Maintenance and Service (SAP PdM&S)

Это облачное приложение разработано на платформе SAP HANA Cloud Platform. Оно позволяет ка-

питалоёмким предприятиям снизить затраты на ТОиР и сократить количество аварийных ситуаций за счёт проактивного ТОиР. Приложение позволяет решать задачи сбора и мониторинга параметров работы оборудования, прогнозирования возможных неисправностей на основе этих параметров и даёт возможность оптимизировать планы ТОиР на основе данных о фактическом состоянии оборудования (см. рис. 3).

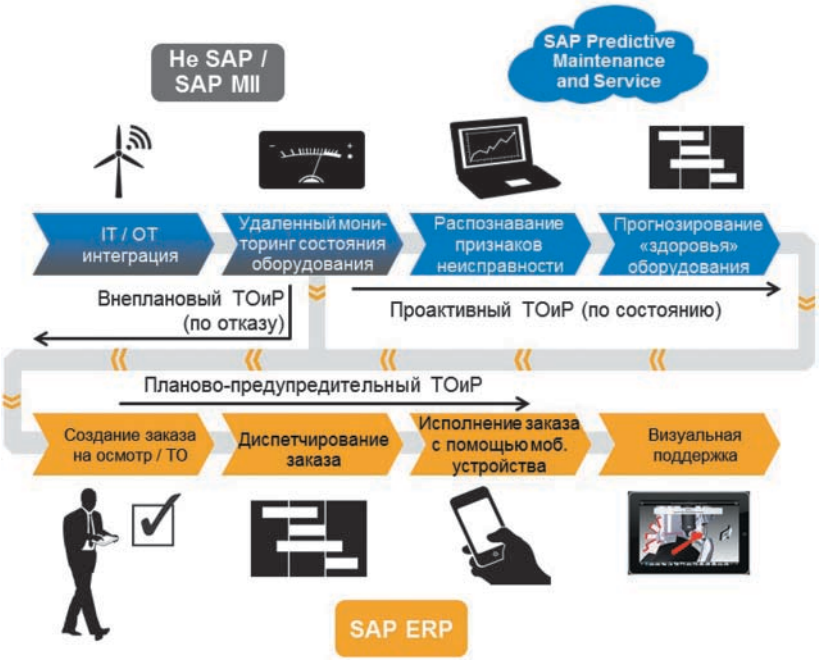


Рис. 3. Использование решения SAP PdM&S в процессах ТОиР

2. Решение Asset Health в компании CenterPoint Energy

В середине марта 2015 года началось пилотное внедрение проектного решения Asset Health в компании CenterPoint Energy. Это совместная разработка SAP и компании Accenture. Как заявили в компании CenterPoint Energy, «Решение Asset Health реализует стратегию компании на интеграцию технологических и информационных систем. Оно должно улучшить управление и техническое обслуживание сетевых активов компании». Решение будет разрабатываться в следующих функциональных областях: геопространственное представление данных, оценка состояния оборудования с помощью предсказательной аналитики, расчёт рисков, история затрат по единице оборудования и моделирование инвестиций в оборудование.

3. Облачная платформа Siemens на базе SAP HANA Cloud Platform

В марте 2015 года компания Siemens начала разработку открытой облачной платформы для промышленных потребителей на базе SAP HANA Cloud Platform. Эта облачная платформа будет поддерживать бизнес-задачи промышленных предприятий, такие как ремонты по состоянию, интеллектуальное управление производственными активами и энергоданными. Также она будет обеспечивать возможность анализа «Больших Данных», полученных из промышленных приложений. И наконец, эта платформа будет открытой – независимые разработчики смогут разрабатывать свои интеллектуальные приложения на её основе.

4. Анализ нагрузки на трансформаторные подстанции в компании Alliander

Компания Alliander, управляющая распределительными электрическими и газовыми сетями в Нидерландах, использовала платформу SAP HANA для анализа и прогноза нагрузки на трансформаторных подстанциях с целью планирования будущих инвестиций в расширение инфраструктуры. Эта задача крайне важна, так как в Нидерландах распределение электроэнергии – также регулируемый вид бизнеса, и компания должна обосновывать свои инвестиции в регулирующих органах. Это решение было разработано компанией Alliander совместно с подразделением SAP Data Science.

Также на платформе SAP HANA был реализован «интеллектуальный» личный кабинет для потребителей электроэнергии, в котором потребители могут анализировать свои профили потребления. Это позволило улучшить понимание структуры энергопотребления со стороны потребителей, что служит предпосылкой к экономии электроэнергии.

5. Определение истинного возраста трансформаторов в компании PSE&G

В феврале 2015 года на конференции DistribuTECH 2015 (Сан Диего, США) компания PSE&G представила программное решение для определения истинного возраста трансформаторов, реализованное на платформе SAP. Задача определения истинного возраста трансформаторов эквивалентна задаче расчёта индекса состояния оборудования, которая упоминалась раньше как одна из ключевых научно-технических задач для электросетевых компаний.

Контактная информация:
Оксана Соловьева: oxana.solovieva@sap.com
Андрей Соболев: andrey.sobolev@sap.com
URL: www.sap.com/cis