

ТЕХНОЛОГИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ РАЗРАБОТКИ ПО ДЛЯ АСУ ТП АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛИЗАЦИИ И ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Полетыкин А.Г., Семенов К.В., Промыслов В.Г., Менгазетдинов Н.Э.,
Бывайков М.Е., Степанов В.Н.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65,
poletik@inbox.ru*

Аннотация. Приводятся сведения о технологии распределенной разработки ПО, которая была в кратчайшие сроки разработана и внедрена для создания ПО интегрирующих программно –технических комплексов АСУ ТП АЭС, посредством которых комплексно решаются задачи контроля, управления и диагностики крупнейших и сложнейших объектов энергетики. Технология позволяет создавать автономные виртуальные рабочие места разработчиков и цифровые двойники сложных промышленных вычислительных комплексов АСУ ТП. Технология была успешно применена для разработки интегрирующих систем верхнего уровня АСУ ТП АЭС в 2020-21 годах и позволила организовать удаленную работу по разработке, наладке и испытаний данных систем в условиях пандемии КОВИД 19 в РФ. Технология имеет экономические, гуманистические и экологические преимущества.

Ключевые слова: программно-технические комплексы, электронный документооборот, режим удалённого доступа, многоуровневая система защиты, АСУ ТП, цифровые двойники.

Введение

Разработка программного обеспечения без посещения офисов практикуется уже давно. Однако при создании сложных программно-технических комплексов, например АСУ ТП АЭС [1], обязательный этап жизненного цикла интеграция технических средств и программного обеспечения" проводился, как правило, с использованием рабочих мест, расположенных в лабораториях, испытательных полигонах, сборочных цехах. Применительно к АСУ ТП АЭС, которые разрабатываются по сложным временным графикам в течение многих лет усилиями многих предприятий, расположенных в разных городах и даже странах, что приводит к необходимости большого количества командировок, переездов, совещаний и т.п.

Условия ограничений в период пандемии сделали работу в офисах и лабораториях, перемещения сотрудников внутри города и в другие города практически не возможными.

В данных условиях было необходимо решить задачу разработки АСУ ТП АЭС Куданкулам блок 3 в части создании ПО системы верхнего блочного уровня (СВБУ), системы верхнего станционного уровня (СВСУ) и системы регистрации важных параметров безопасности (СРВПЭ). Масштаб и сложность этих систем характеризуется количеством элементов вычислительной техники, количеством связей (шлюзов) с другими подсистемами АСУ ТП АЭС, количеством обрабатываемых сигналов контроля, управления и диагностики, числом разработчиков.

Специфика технологии интеграции АСУ ТП АЭС при помощи СВБУ требует изготовления отдельных частей ПО, их инсталляции, обучения персонала и технической поддержки в лабораториях и сборочных цехах организаций, расположенных в разных местах.

Поскольку традиционная технология разработки ПО больше не подходила, нужно было срочно ее изменить, дополнить, адаптировать к условиям пандемии. Воспользовавшись наработками, которые, впрочем, предназначались для другого [2].

Ниже (рис.1) приводятся основные особенности новой распределенной технологии разработки ПО, примененной для ПО СВБУ, СВСУ, СРВПЭ АСУ ТП АЭС и его интеграции с программно - техническими средствами (ПТС) и программно - техническими комплексами (ПТК) в условиях удаленного доступа.

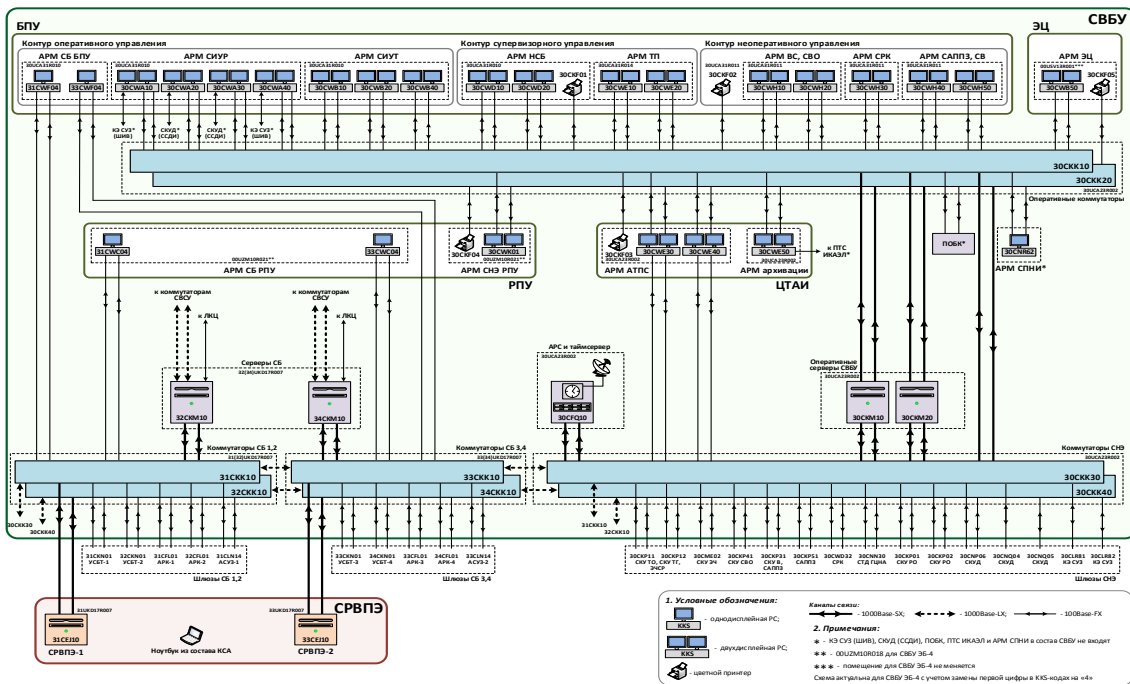


Рис. 1. Структурная схема СВБУ

1 Постановка задачи

Дано: есть предприятие-разработчик ПО (ПР), которое должно вести разработку ПО по сложному временному графику, поставляя части ПО сторонним организациям (СОР). Взаимодействие ПР с СОР осуществляется через электронный документооборот (ЭД).

В помещениях ПР размещено оборудование в виде рабочих мест персонала (РМ), оснащенных необходимыми техническими и программными средствами разработки (ОС, компиляторы, отладчики, редакторы и т.п.), нескольких центров обработки данных (ЦОД) также с необходимым набором инструментов, электронных депозитариев (ЭДПЗ), объединенных в изолированную (из соображений безопасности) локальную вычислительную сеть (ЛВС).

В нормальных условиях персонал работает на РМ, обращается в ЭДПЗ, получает распоряжения и отчитывается через ЭД, работает с ЦОД, обменивается информацией по электронной почте, участвует в совещаниях. Персонал в качестве рабочих мест использует ТС локализованные на территории ПР. По приглашению персонал посещает СОР и проводит работы на их территории.

В условиях ограничений персонал не имеет доступа к РМ, ЦОД, ЭД, ЭДПЗ, СОР. Все, что у него есть – это компьютер с выходом в InterNet. Есть возможность периодического посещения ПР одним человеком (примерно раз в неделю) для контроля, не отключаемого оборудования.

2 Облачная инфраструктура и управление

Решение задачи создания инфраструктуры для домашней работы.

Поскольку ЭД хранит информацию на энергонезависимых носителях, доступ к нему невозможен через InterNet. Поэтому была создана копия содержимого ЭД, необходимого для работы, в облачном файловом сервисе с соблюдением мер информационной безопасности, которые были выбраны на основе анализа рисков. Для обеспечения сохранности информации она периодически копировалась на ЭД при посещении ПР дежурным.

Распределение уровней подчинения, ролей и обязанностей персонала не изменилось, но контактное взаимодействие было переведено на использование личных смартфонов и электронной почты. При этом было введено общие требования:

- обеспечить непрерывный доступ по телефону в течение рабочего времени,
- обеспечить подключение смартфона и компьютера к InterNet.

Уровень развития связи и InterNet не только в Москве, но и в других областях РФ позволил персоналу работать в наиболее изолированных комфортных условиях, включая дачи и загородные дома.

3 Виртуальные рабочие места

Были созданы виртуальные рабочие места (VRM), на основе широкораспространенных ОС, содержащие средства доступа к электронной почте, к облачным сервисам, текстовые процессоры и т.п. ПО, которое присутствует, либо можно с легкостью установить на общедоступные компьютеры.

На VRM дополнительно устанавливались средства виртуализации, например, Oracle VirtualBox и другие, обеспечивающие возможность установки специфических средств разработки.

Специфические средства разработки включают в себя специальные ОС, компиляторы, отладчики и другие пакеты программ, используемые в разрабатываемых системах.

В совокупности VRM обладает функционалом, достаточным для автономной разработки и отладки компонентов ПО удаленной сложной распределенной управляющей вычислительной системы.

4 Цифровые двойники

Использование VRM не решает в полном объеме задачу создания ПТК в режиме удаленного доступа. Остается значительная часть специалистов, в том числе и разработчиков ПО, необходимых для проведения работ по изготовлению (сборки) ПТК, разработки и отладки ПО в составе ПТК, проведения испытаний ПТК непосредственно на площадке завода изготовителя.

С целью сокращения трудозатрат на разработку ПО и сокращения объемов работ на площадке завода изготовителя были разработаны цифровые двойники (ЦД) СВБУ, СВСУ, СРВПЭ.

Цифровой двойник сложного ПТК в нашей реализации представляет собой ЦОД с виртуальной программной средой, обеспечивающей функционирование полного бинарного (рабочего) образа ПО ПТК. При этом рабочий образ ПО ПТК включает в себя рабочие образы ПО, включая системное ПО (СПО), всех программно-технических средств (ПТС) ПТК, эмуляторы и сетевые настройки всего сетевого оборудования ПТК, включая элементы защиты сети, ПО всех имитаторов низовых ПТК АСУ ТП.

Построенные двойники представляют собой комплекс из более чем 60 виртуальных машин и компонентов, функционирующих на ЦОД. Отдельные машины и компоненты имитируют рабочие станции операторов-технологов АЭС, другие — сетевое оборудование, третьи — диоды данных, серверы и т.д. [3].

Для доступа к ЦД на ЦОД и VRM были установлены пакеты программ, позволяющие обмениваться файлами, пользоваться удаленными консолями, имитировать с высокой степенью адекватности работу в диалоговом и графическом режимах. Т.е. персонал при помощи VRM получил возможность отладки всего комплекса ПО СВБУ, СВСУ, СРВПЭ. Более того появилась возможность отладки взаимодействия ПО этих систем между собой.

Поначалу степень адекватности ЦД как модели ПТК можно было оценивать только экспертными методами. Но в отсутствие альтернативы для отладки ПО были использованы именно ЦД. Однако, когда разработанное ПО ПТК было перенесено на реальные ПТК СВБУ, СВСУ, СРВПЭ, появилась возможность оценить степень адекватности. Она оказалась на 90% адекватной. При этом были выявлены отклонения и недостатки ЦД, включая:

- временные параметры прохождения информации,
- неполные модели диагностики аппаратных средств ПТК.

Для создания ЦД и средств доступа использовалось свободно-распространяемое ПО, включая гипервизор QEMU/KVM, виртуальный коммутатор OpenVSwitch, ПО автоматизации ИТ ansible.

Рис. 2 иллюстрирует технологию.

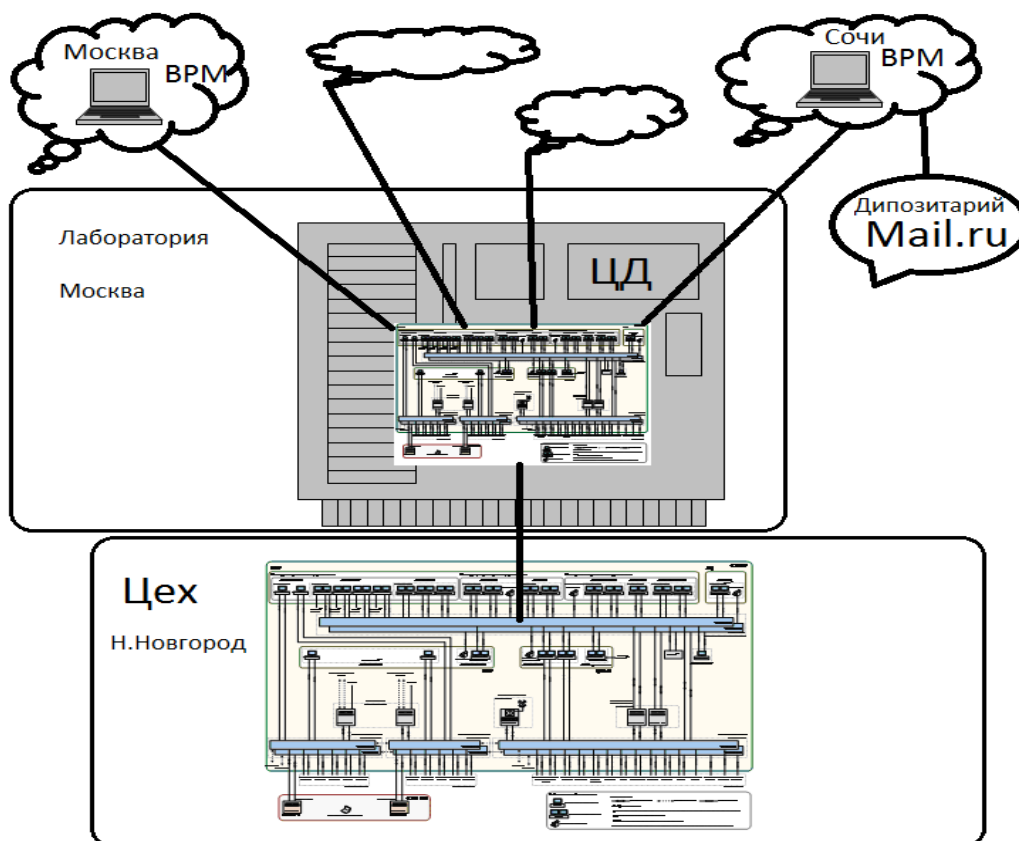


Рис. 2. Иллюстрация технологии

5 Средства и методы обеспечения безопасности разработки

Безопасность разработки обеспечивается многоуровневой системой защиты со следующими ключевыми элементами.

1. Доступ к ЦОД возможен только через VPN-канал, ключи доступа к которому передаются каждому разработчику персонально «в руки».
2. Пользователь, заходящий с ВРМ в ЦОД, авторизуется в сеансе ssh при помощи асимметричных ключей шифрования, причём, закрытые ключи никуда не передаются. Весь трафик между ЦОД и ВРМ, таким образом, шифруется дважды.
3. Разработчики пользуются системами контроля версий ПО.
4. Периодически (с учетом антивирусных ограничений) создаются резервные копии ЦД на отдельных энергонезависимых носителях.
5. Для снижения количества ошибок при настройке ПО используются средства централизованного распространения ПО, входящие в прикладное ПО, а также программный пакет ansible.

6 Субъективная оценка технологии с позиции оператора ВРМ

Главным преимуществом является то, что технология позволяет вести разработку ПО удаленно, избегая рисков заболеваний персонала.

Преимуществом является более комфортные условия труда для персонала, отсутствие трат на поездки в офисы. Но это касается не всех, а только для тех, кто имеет пригодные условия удаленной работы (кабинеты в квартирах, загородные дома, дачи и т.п.) Для людей со стесненными жилищными условиями удаленная работа может быть в тягость.

Недостатком технологии является отсутствие живого общения с коллегами, необходимость частых телефонных переговоров, утомительные видеоконференции. Тут стоит упомянуть одно наблюдение: самым комфортным и эффективным способом общения является переписка. Однако это относится к людям с хорошими навыками написания текстов. А люди с плохими навыками вообще не годятся для работы в удаленном режиме.

Наблюдается еще один интересный негативный эффект при работе с ЦД. Этот эффект можно назвать потерей ориентации в виртуальном пространстве. Он проявляется при работе с окнами сразу

нескольких виртуальных машин, когда мозг перестает справляться с идентификацией контекста. Эффект вызывает раздражение и головную боль – лечится исключением ВРМ и активным отдыхом.

Дискомфорт вызывает необходимость многократного преодоления барьеров информационной безопасности, которые совершенно необходимы.

Несмотря на все недостатки, не было ни одного случая, чтобы производственная проблема, не связанная с необходимостью физического доступа к оборудованию, не была решена дистанционно. Иногда приходилось делать паузы, перерывы на поиск решений, но потом все равно решение находилось.

Создание ВРМ и ЦД требуют дополнительного оборудования (лаптопы, подключения к Internet) и усилий высококвалифицированных специалистов по виртуализации. При работе требуется дополнительные расходы на связь (в 2-3 раза).

В наших реальных условиях и оборудование и специалисты были в штате. Поэтому цена оказалась приемлемой и даже можно констатировать большую экономию на командировочных расходах.

Заключение

В области науки и техники поставлена очередная веха, расширяющая границы применимости методов виртуализации и цифровых двойников: описанная технология применима при интеграции ПО и технических средств интегрирующих систем АСУ ТП АЭС. Во всяком случае, в РФ.

Технология основана на доступных свободно-распространяемых элементах, недорогих компьютерах. Она проста и может быть свободно распространена на другие области науки и техники без существенных затрат.

Технология позволяет распараллелить процессы разработки ПО сложной системы и изготовления системы на заводе изготовителе, что сокращает производственный цикл.

В случае применения данной технологии при разработке и изготовлении низовых ПТК АСУ ТП её эффективность может проявиться при создании АСУ ТП в целом.

Технология имеет гуманистический аспект – освобождение людей от требования присутствия людей в офисах. Люди получают возможность выбора, посещать офис или работать удаленно. Это может иметь ключевое значение для привлечения к работе состоятельных людей с уникальными способностями, для которых комфорт в широком понимании этого понятия (работа на дому, на даче, в круизе или на курорте) является обязательным атрибутом образа жизни. С другой стороны технология позволяет привлекать к высокотехнологичной и высоко оплачиваемой работе квалифицированных людей из провинции.

Экологический аспект тоже имеет место: технология позволяет экономить энергию за счет снижения транспортных расходов, расходов на содержания офисов.

Литература

1. Бывайков М.Е., Жарко Е.Ф., Менгазетдинов Н.Э., Полетыкин А.Г., Прангишвили И.В., Промыслов В.Г. Experience from design and application of the top-level system of the process control system of nuclear power-plant // Automation and Remote Control. 2006. Vol. 67, No. 5. С. 735-747.
2. Полетыкин А.Г. Элемент цифровой индустрии 4.0: виртуальная суперкомпьютерная модель для сопровождения и модернизации сложных систем / Материалы 11-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2018, Москва). под общ. ред. С.Н.Васильева, А.Д. Цвиркуна М.: ИПУ РАН, 2018. Т. 1. С. 54-59.
3. Семенов К.В., Промыслов В.Г., Полетыкин А.Г., Менгазетдинов Н.Э. Validation of Complex Control Systems with Heterogeneous Digital Models in Industry 4.0 Framework // Machines. 2021. vol. 9, iss. 3. С. 1-17, <https://www.mdpi.com/2075-1702/9/3/62>.