

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ АСУ ТП НА БАЗЕ ФПО СИСТЕМЫ «МИРТС»

В.А. МЕНДЕЛЕВИЧ (АО «НВТ-Системы»)

НВТ
СИСТЕМЫ

В последнее время большое внимание специалистов привлекает использование в промышленности технологии цифровых двойников. В статье рассказывается о структуре и основных решениях фирменного ПО «МИРТС», использующего технологию цифровых двойников как основу построения систем контроля и управления технологическими процессами.

Ключевые слова: фирменное программное обеспечения (ФПО); программно-аппаратная платформа; цифровой двойник; виртуальная машина; АРМ; АСУ ТП; МЭК 61508.

АО «НВТ-Системы» сделало технологию цифровых двойников основой своего фирменного программного обеспечения (ФПО) для АСУ ТП более 25-ти лет назад. За прошедшие годы технология активно развивалась и сопровождалась средствами представления, хранения, организации взаимодействия между двойниками и с другими программными средствами. Достигнутый уровень надёжности обеспечил внедрение и успешную эксплуатацию АСУ ТП большого количества производств, включая особо опасные. В статье рассмотрены структура и основные особенности построения системы «МИРТС» на базе цифровых двойников.

Теоретические основы ФПО «МИРТС» были разработаны сотрудниками компании на базе комплекса инновационных технологий системного программирования, в том числе отечественных [1, 2]. Цифровые двойники стали основой четвёртой версии программного комплекса, как объединение трёх технологий системного программирования и прикладной математики, уже использованных в более ранних версиях ФПО:

- Объектный подход с полной реализацией типизации, наследования, полиморфизма, инкапсуляции.
- Математическая модель конечного автомата.
- Виртуализация объектов и ресурсов.

Принципиальным шагом к цифровым двойникам стало применение модели конечного автомата для всех динамических

объектов программной системы – базовый для всех динамических объектов класс так и был назван – **Model**. В первых трёх версиях ФПО модель конечного автомата применялась только для управления арматурой, а начиная с четвёртой моделями стали все компоненты прикладных программ и системы. Важной составляющей технологии является виртуализация, которая позволяет абстрагировать технологические программы от типов используемых программно-аппаратных платформ и особенностей конфигурации ПТК.

В составе ФПО «МИРТС» технология цифровых двойников сочетается с другими передовыми технологиями системного программирования, из которых нужно особо отметить:

- единую базу данных проекта с поддержкой мультипроектности, мультиплатформенности, многопользовательского доступа;
- непроцедурный язык программирования [3], объединяющий все программные средства и технологии ФПО «МИРТС» в единое пространство понятий и действий;
- быстродействующие многоуровневые средства сетевого обмена, обеспечивающие резервирование, однократность передачи данных в оперативном контуре, оптимизацию сетевого трафика данных разной природы, автоматическую многоуровневую фильтрацию данных в больших системах.

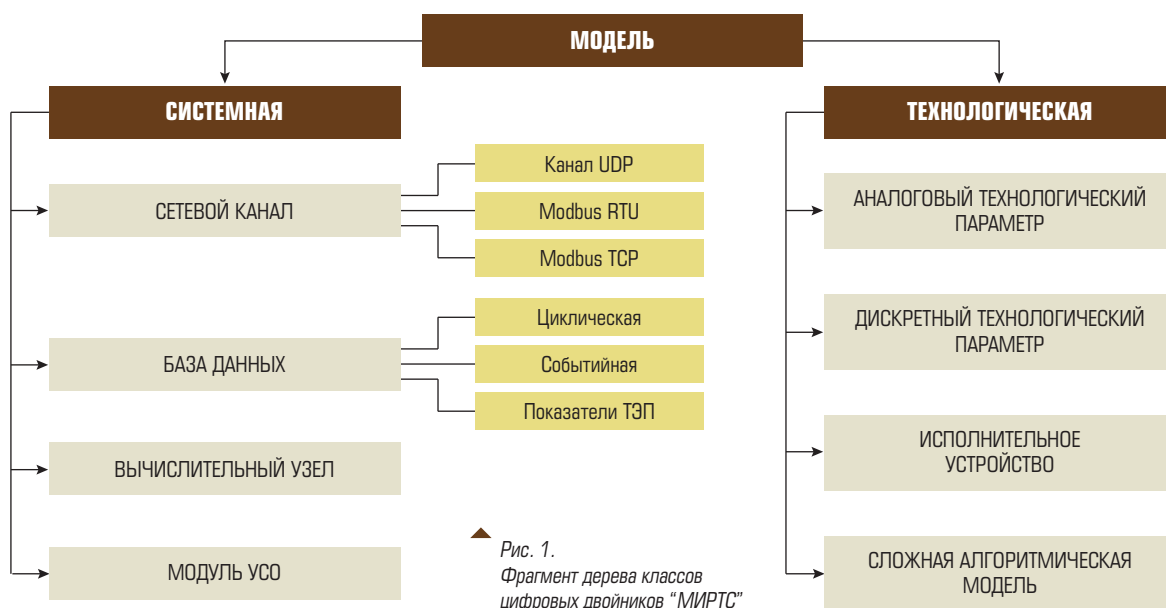


Рис. 1. Фрагмент дерева классов цифровых двойников "МИРТС"

СТРУКТУРА ПО АСУ ТП НА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ "МИРТС"

Полноценное применение технологии цифровых двойников приводит к изменению структуры программного обеспечения АСУ ТП – оно превращается в сетевую систему взаимодействующих цифровых двойников.

В ФПО "МИРТС" реализованы все элементы, требуемые для создания АСУ ТП на цифровых двойниках:

- Декомпозиция типового объекта и АСУ ТП на набор взаимодействующих типов (классов) цифровых двойников (рис. 1).
- Описание логики работы типового цифрового двойника на базе математической модели конечного автомата.
- Организация взаимодействия цифровых двойников в системе управления: параллельного выполнения каждой модели в своём логическом потоке, организация обмена данными между двойниками, системный блок приоритетов для команд и запретов и т.п.
- Обеспечение инвариантности логики технологических программ относительно размещения цифровых двойников в узлах распределённой АСУ ТП.
- Декомпозиция объекта управления в конкретной АСУ ТП на комплекс иерархически связанных цифровых двойников.
- Описание связей между цифровыми двойниками по параметрам и по отношениям мастер-исполнитель, привязка моделей к аппаратным средствам по входам и выходам.

ПРЕИМУЩЕСТВА "МОДЕЛЬНОЙ" СТРУКТУРЫ ПРИКЛАДНОГО ПО "МИРТС"

Технология цифровых двойников признана приоритетным направлением развития программного обеспечения для промышленности России, так как даёт потребителю важные преимущества. В ФПО "МИРТС" эти преимущества реализованы:

- Гарантированная детерминированность процесса управления, включая невозможность попадания системы в непредусмотренное программой состояние; простота полноценной верификации прикладных программ.
- Единообразность операций контроля и регистрации состояния объектов различного типа.
- Единообразность операций по управлению объектами всех уровней: от клапана до установки/энергоблока в целом.
- Возможность расширения "модельного" функционала цифровых двойников внешними расчётами любого уровня сложности при сохранении преимуществ распределённо-иерархической структуры системы.
- Эффективное управление системными ресурсами (каналами связи, базами данных и т.п.), представляемыми в системе как системные модели.
- Полномасштабная виртуализация технологических программ, что позволяет имитировать управление любого объекта (от клапана до энергоблока включительно) на

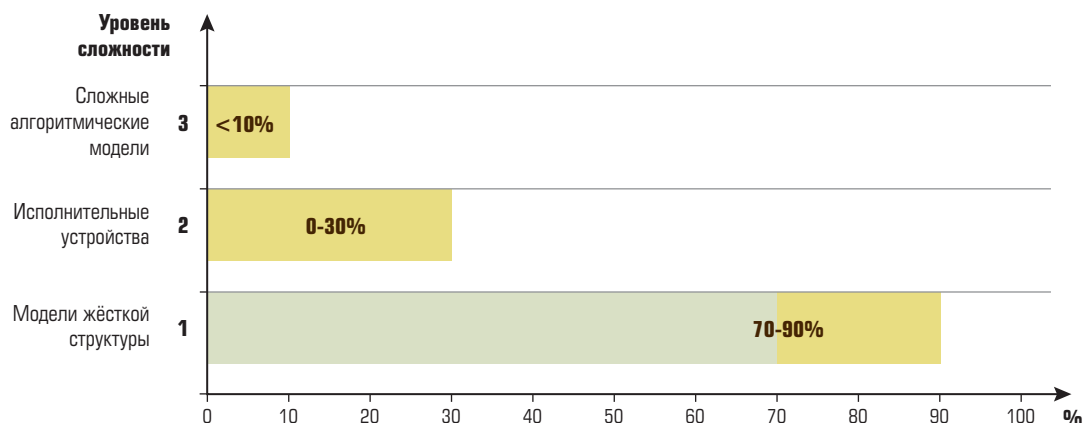


Рис. 2. Распределение числа моделей в АСУ ТП по уровню сложности

одном компьютере. При этом полностью используется программный код, который будет выполняться на контроллерах в реальном времени.

Преимущества проявляются сильнее с ростом масштаба, тиража, алгоритмической сложности и требований к безопасности АСУ ТП.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛИЗАЦИИ В ФПО “МИРТС”

Виртуализация является одной из базовых технологий ФПО “МИРТС” и активно используется на всех уровнях ПТК в структурных решениях, системном, фирменном и прикладном ПО:

- Виртуализация среды – технологические программы в АСУ ТП на МИРТС исполняются в виртуальных машинах (ВМ “МИРТС”), которые работают на всех контроллерах и АРМ АСУ ТП. Мультиплатформенная виртуальная машина обеспечивает загрузку, исполнение и взаимодействие в реальном времени цифровых двойников. В 2022 г. доступны реализации ВМ “МИРТС” на аппаратных платформах x86 и ARM для программных сред Windows, WinCE, Linux и CodeSys.
- Виртуализация динамических элементов интерфейса – каждый динамический графический объект отражает состояние связанного с ним цифрового двойника.
- Виртуализация исполнения цифровых двойников – каждый цифровой двойник исполняется в собственном виртуальном потоке. Диспетчеризацию и взаимодействие между цифровыми двойниками обеспечивает ВМ “МИРТС”.

- Виртуализация сетевых каналов – технологические программы МИРТС не зависят от типов сетевых интерфейсов, которые скрыты за виртуальной моделью сетевого канала.
- Виртуализация серверов МИРТС – логический сервер может быть выделен, или совмещён с АРМ; на одном физическом сервере, как правило, размещаются логические сервера нескольких оперативных контуров АСУ ТП на МИРТС.

Последовательно применённая виртуализация обеспечила платформенезависимость и переносимость прикладных программ в ФПО “МИРТС”.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ “МИРТС” ПО АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ И УРОВНЮ СВОБОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В системах реального времени применение цифровых двойников должно обеспечиваться высокой эффективностью исполнения состоящих из них прикладных программ.

“МИРТС” обеспечивает сочетание высокой эффективности и универсальности технологических программ цифровых двойников. В том числе, за счёт разделения двойников на три уровня по сложности алгоритмов и свободе программной реализации (рис. 2):

1. Модели жёсткой структуры составляют до 90 % цифровых двойников в АСУ ТП: аналоговые и дискретные технологические параметры; системные модели (каналов связи, модулей УСО, вычислительных узлов, баз данных и т.п.) – алгоритмы их работы реализованы максимально эффективно

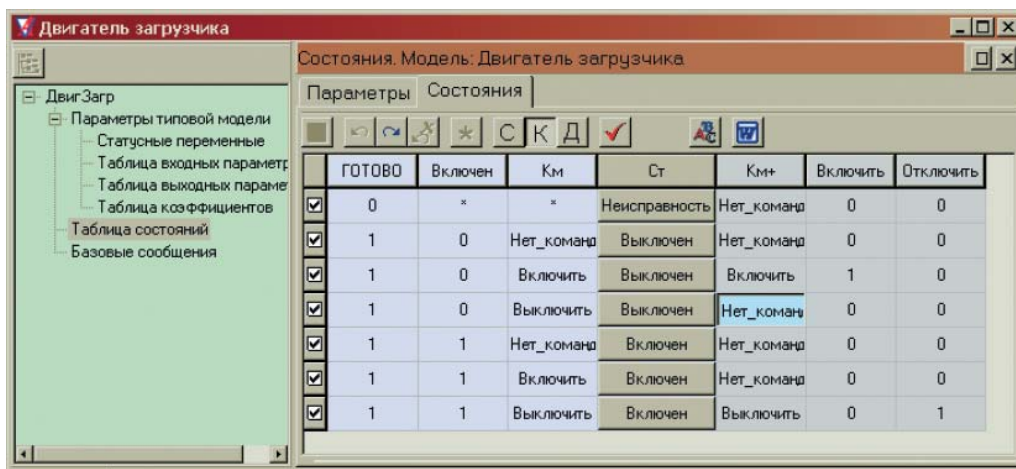


Рис. 3. Таблица состояния цифрового двойника типа “Двигатель загрузчика”, который относится к классу “Исполнительных устройств”

в самой ВМ “МИРТС” на С++, а в конкретной АСУ ТП для них задаются параметры конфигурации: типы преобразований (линейное/корень/экспонента, прямая/обратная шкала и т.п.), коэффициенты настройки (шкалы, уставки, уровни сигнализации и т.п.) и связи с другими объектами.

- Исполнительные устройства, составляющие до 30 % моделей в управляющих системах, описывается “чистой” моделью конечного автомата. Такое описание оптимально для ответственных алгоритмов управления малой и средней сложности.
- Цифровые двойники высокой сложности (менее 10 % моделей в типичной АСУ ТП) могут содержать произвольные алгоритмы, которые описываются с использованием стандартных языков ST, FBD и табличных форм, дополненные возможностью вызова внешних функций для особо сложных вычислений.

В результате разделения цифровых двойников по уровню свободы программирования, эффективность выполнения технологических программ в МИРТС оказывается в 2-3 раза выше, чем в традиционных системах типа ISaGRAF или CodeSys для решения аналогичной задачи. При этом сохраняются все преимущества модельной структуры.

ОБЩИЕ СВОЙСТВА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА “МИРТС”

Все цифровые двойники в МИРТС наследуются от общего виртуального класса “Модель”, поэтому все они обладают набором базовых свойств:

- Имеют набор внешних параметров, только через которые производится обмен данными с внешними объектами (инкапсуляция).
- Вычисляют набор параметров состояния (каждый тип своим способом), которые доступны оператору и другим моделям (рис. 3).
- Имеют набор конфигурируемых или программируемых методов, выполняемых при каждой активизации данной модели виртуальной машиной.
- Умеют выполнять команды оператора и других моделей, с учётом их приоритета.
- Умеют отправлять команды другим моделям и сообщения на верхний уровень АСУ ТП.

Набор указанных свойств, общий для всех моделей, позволяет строить АСУ ТП как иерархию взаимодействующих цифровых двойников. Разделение внешних связей между моделями и внутренней логики их работы обеспечивает однотипность структуры АСУ ТП для широкого класса объектов и минимизацию изменения программ от одного объекта к другому.

СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА “МИРТС” ВЫСОКОЙ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ

Цифровые двойники-модели класса “Сложная алгоритмическая модель” не только наследуют свойства класса Модель, но и приобретают существенно больший набор возможностей:

- Их программный код имеет неограниченную сложность и может содержать опера-

петчера ВМ она считывает значения своих входов, выполняет свои методы, формирует выходные значения, команды исполнителям, сообщения на АРМ оператора и в событийную базу.

- Основным способом передачи данных между моделями является чтение значений статусных параметров исполнителей, что на порядок сокращает число связей относительно традиционного способа “выход одного блока на вход другого”. Сигналы управления передаются через команды исполнителям.
- В АСУ ТП, управляющей ответственными технологическими процессами, как правило, выделяются две очереди выполнения, одна из которых является высоко приоритетной. В “МИРТС” разработчик должен уделить внимание только высокоприоритетной задаче, для которой задаётся частота и очередность вызова цифровых двойников. Управление цифровыми двойниками задачи основного цикла диспетчера ВМ “МИРТС” успешно осуществляют в автоматическом режиме. Стандартный период вызова двойника в задаче основного цикла ВМ “МИРТС” составляет 100 мс, но может быть сокращён или увеличен по желанию разработчика прикладного ПО.
- Разрешение конфликтов между командами от различных источников и технологических ограничений (блокировок) осуществляется в блоке приоритетов, встроенном

в ВМ “МИРТС”. При этом все блокировки явно прописываются в специальной форме соответствующей модели и действуют независимо от точки выполнения её основной программы.

В сочетании с виртуализацией каналов связи, передача управления обменом данными между моделями на уровень ВМ “МИРТС” обеспечивает независимость прикладных программ основного цикла от конфигурации контроллеров и локальной вычислительной сети.

ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС АРМ ОПЕРАТОРА АСУ ТП НА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ “МИРТС”

Применение цифровых двойников многократно упрощает связь переменных программы контроллера с их изображением на экране АРМ оператора:

- Любой динамический элемент графического интерфейса АРМ “МИРТС” является изображением соответствующего цифрового двойника.
- Все динамические параметры изображения (цифровые значения, цвета заливки и линий, стили, поворот, мигание и т.п.) определяются текущими значениями параметров состояния модели-цифрового двойника, поэтому обеспечивается полная независимость изображения от физической привязки переменных (рис. 6).

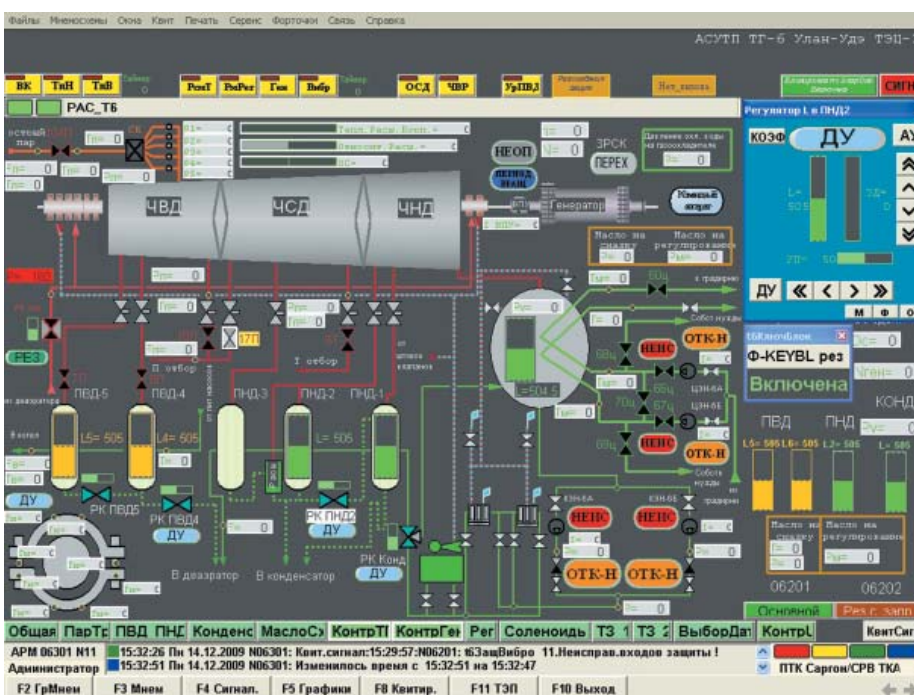


Рис. 6. Изображение цифровых двойников на мнемосхеме

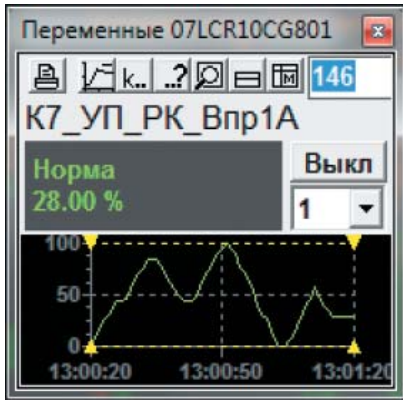


Рис. 7. Объектное окно аналогового технологического параметра



Рис. 8. Объектное окно алгоритмической модели Регулятор давления перегретого пара

- После установки единственной связи между цифровым двойником и его графическим образом появляется возможность использовать множество параметров модели для её изображения: значение физической величины, состояние и режим управления модели, достоверность значений и т.п., что значительно сокращает трудоёмкость привязки и количество ошибок.
- Управление любым объектом с АРМ оператора состоит в передаче команды от графического представления своему цифровому двойнику и использует ту же единственную связь изображения с моделью.
- Способ изображения модели на мнемосхеме задаётся однократно для типа модели, что значительно сокращает число настраиваемых разработчиком параметров – для моделей уровней сложности 1 и 2, составляющих 90% от общего количества моделей, количество типов в большой системе меньше количества моделей в 100 и более раз.
- Более полная информация о модели представлена в объектном окне, которое может быть привязано как к конкретной модели-цифровому двойнику, так и к типу модели (используется для всех моделей данного типа, рис. 7).
- Объектные окна создаются в графическом редакторе мнемосхем и имеют большое разнообразие по размерам и составу элементов (рис. 7-рис. 9).
- Создание типовых объектных окон дополнительно упрощается возможностью изображения в них моделей-подчинённых основной модели окна. Например, в типовом объек-



Рис. 9. Малое объектное окно аналогового параметра

ном окне регулятора можно разместить изображения типовых подчинённых: диаграмму значения регулируемого параметра, диаграмму положения регулирующего клапана и т.п. (рис. 8). При вызове объектного окна конкретного регулятора щелчком мыши по его изображению на экране, в открывшемся окне будут показаны изображения как самого регулятора, так и его подчинённых. Конфигурировать объектное окно потребуется всего 1 раз для типа регулятора, привязка типовых подчинённых к конкретным моделям происходит при открытии окна.

БАЗЫ ДАННЫХ АСУ ТП НА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ “МИРТС”

Базы данных истории технологического процесса в АСУ ТП на цифровых двойниках должны иметь объектную структуру – для полноценного архивного представления моделей в базе должен сохраняться набор основных параметров состояния (значения, режимы, признаки достоверности и т.п.), при этом набор хранимых параметров зависит от класса модели.

ФПО “МИРТС” ведёт все предусмотренные стандартами на АСУ ТП оперативные и архивные базы данных, в формировании которых активно используются модели-цифровые двойники.

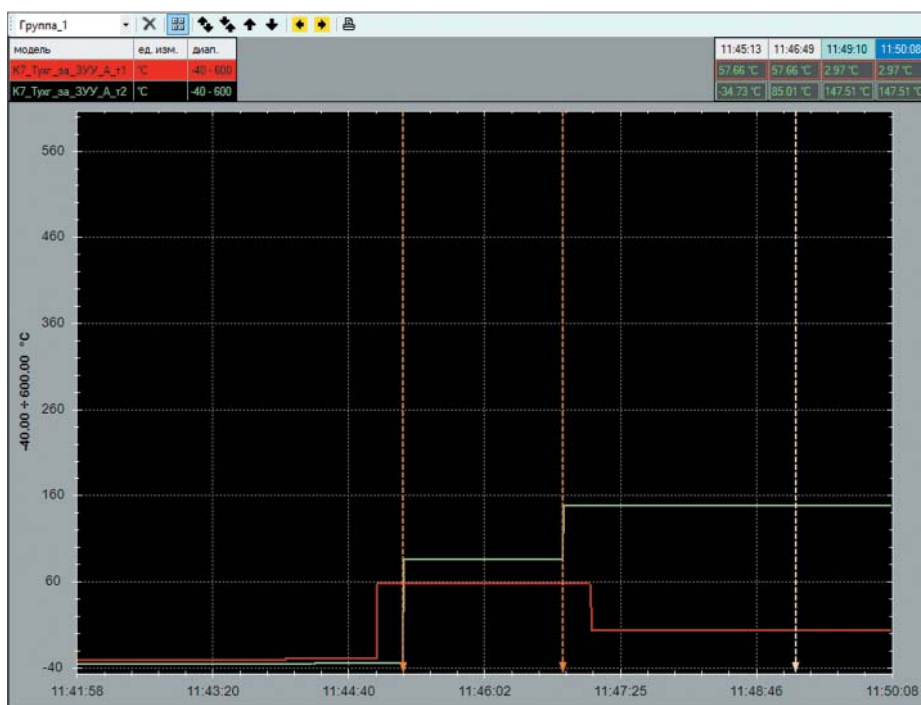


Рис. 10. Графическое изображения двух моделей с четырьмя временными срезами

В событийной базе данных ключевыми полями сообщения являются время регистрации события, уникальный идентификатор модели-источника сообщения и уникальный идентификатор ВМ, в которой эта модель работает. Эти поля заполняет ВМ источника при генерации сообщения.

При анализе событийного архива идентификаторы модели-источника и ВМ-источника, являются важными и удобными критериями выборки.

Сообщение создаёт один из цифровых двойников (в большинстве случаев), или сама ВМ (например, об ошибке открытия файла), или оператор (сообщения о его действиях).

Не ключевые поля сообщения, включая уровень сигнализации, заполняются ВМ (для системных сообщений и сообщений оператора) или прикладной программой модели-источника.

В базах данных значений технологических параметров ключевым полем записи является время, а значения технологических параметров записываются по-модельно — для каждого сохраняемого цифрового двойника в записи выделяется место, зависящее от его типа. Перечень хранимых значений также определяется типом сохраняемой модели. Например, для аналогового параметра записываются значение, состояние, и флаги режимов; для арматуры — состояние, исполняемая команда, режим управления и т.п.

ФПО поддерживает одновременное ведение нескольких баз данных значений, для каждой базы формируется свой список храни-

мых моделей, задаётся частота записи, место хранения базы, глубина хранения и т.п.

Для ФПО “МИРТС” каждая база данных событий или значений сама является моделью: она определяет своё состояние, умеет выполнять команды, может отображаться на мнемосхемах и т.п.

ОТОБРАЖЕНИЕ ГРАФИКОВ И СОБЫТИЙ В АСУ ТП НА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ

Графическое представление изменения значений параметров также производится в ФПО “МИРТС” с использованием преимуществ технологии цифровых двойников:

- График может быть вызван щелчком мыши по изображению любой модели, так как сам цифровой двойник содержит всю необходимую для отображения информацию: для аналогового параметра — границы шкалы, уставки сигнализации (если заданы), флаг достоверности и др.; для исполнительного устройства — перечень именованных состояний, флаг достоверности, режим работы и т.п.
- В одном графическом окне могут размещаться модели разных классов, каждый может иметь свою шкалу изображения, которая определяется автоматически по параметрам своего цифрового двойника (рис. 10).
- На экране можно открыть одновременно несколько синхронизированных окон графиков.

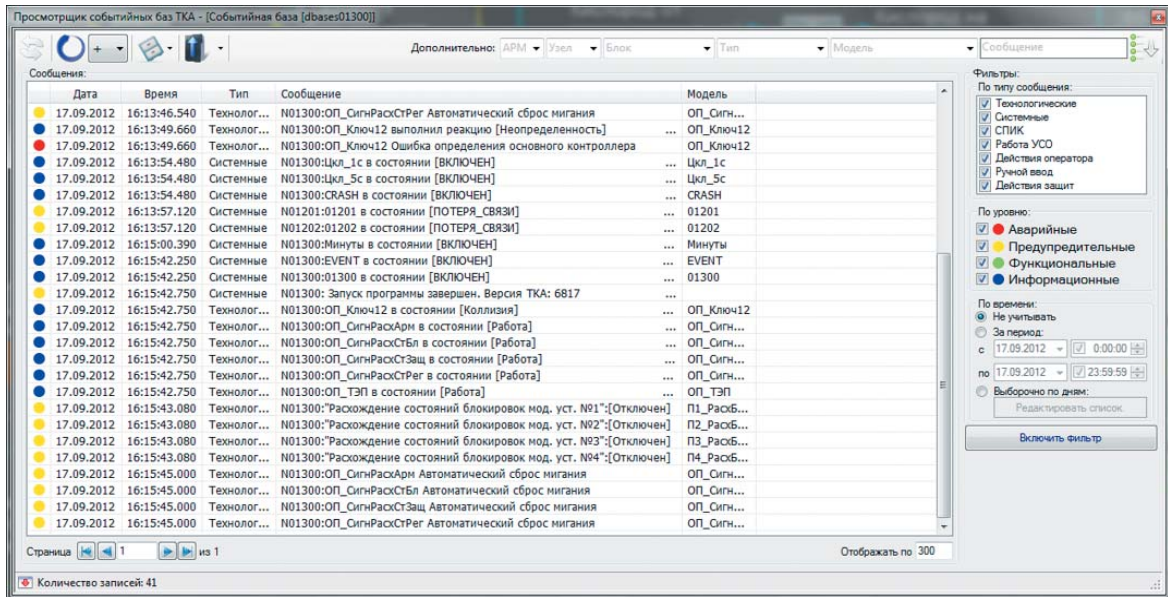


Рис. 11. Окно монитора событий

Для представления и анализа информации из событийной базы (рис. 11) большое значение имеет удобство выборки информации из большого массива данных и установки связи событий со значениями параметров из архива значений переменных.

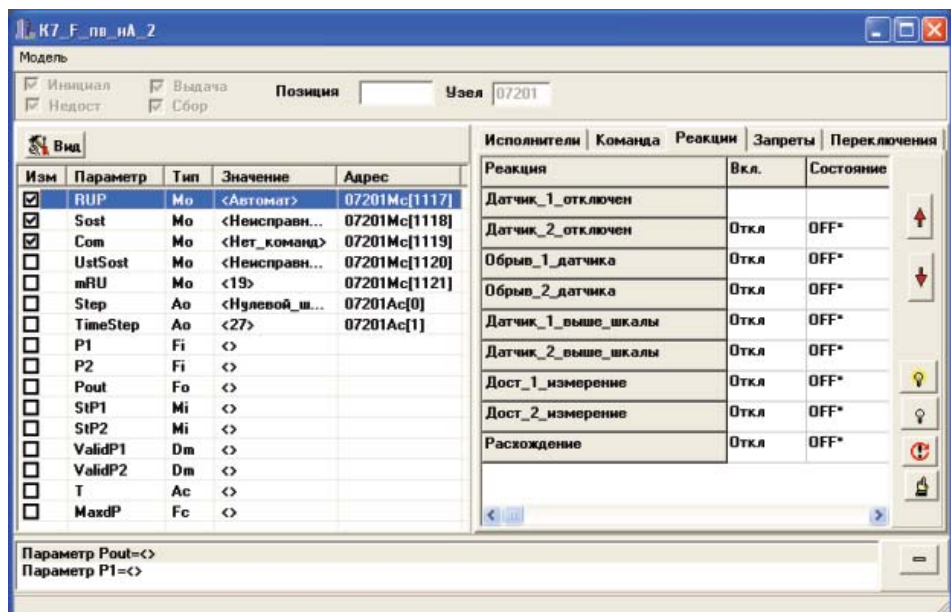
Привязка сообщения к его модели-источнику обеспечивает не только эффективность выборки сообщений из базы, но и простоту переключения на архив значений модели-источника или мнемосхему, с которой можно устранить причину сигнализации.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ “МИРТС” ДЛЯ ИНЖЕНЕРА АСУ ТП

Виртуальная машина “МИРТС” предоставляет инженеру АСУ ТП полный доступ ко всем параметрам выбранного цифрового двойника через форму “Окно Модели”:

- При наличии инженерных прав доступа, через Окно модели можно просматривать значения всех параметров модели, контролировать состояние запретов и переключений, срабатывание реакций (рис. 12).

Рис. 12. Инженерное окно сложной алгоритмической модели



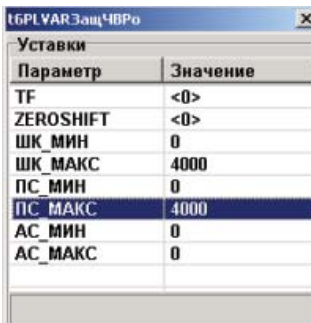


Рис. 13. Окно коэффициентов

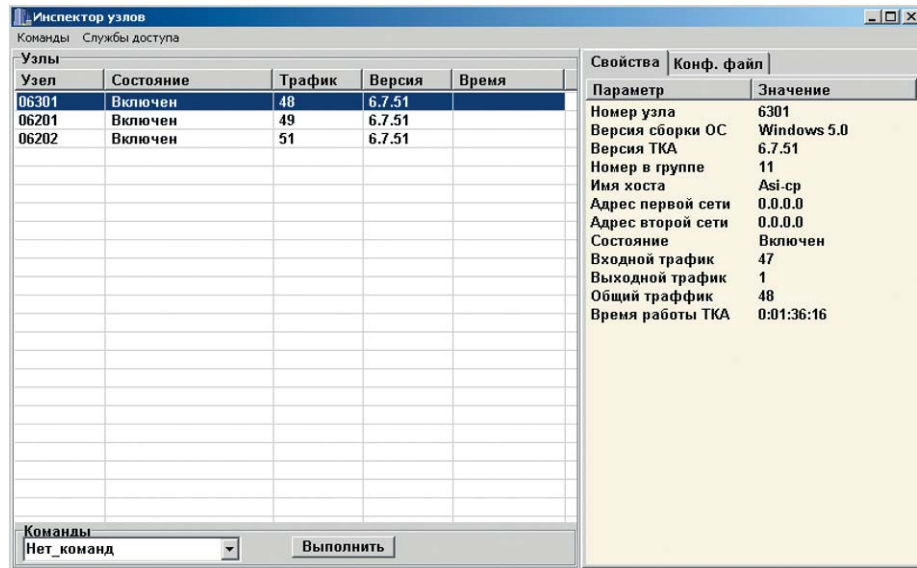


Рис. 14. Инженерное окно модели контроллера

- Коэффициенты доступны для редактирования в специальной форме (рис. 13).
- Можно перевести модель в режим имитации и управлять значениями входных параметров, выполняя наладку в реальном времени.
- В процессе наладки можно отправить модели любую команду.
- Щелчком мыши можно перейти из инженерного окна текущей модели в окно любой из её моделей-исполнителей, контролируя взаимодействие цифровых двойников.

Аналогичные окна открываются для системных моделей (рис. 14).

Важно отметить, что ни одна из перечисленных инженерных форм не требует от разработчика АСУ ТП дополнительного конфигурирования – они создаются автоматически на основе шаблонов по описанию типа модели цифрового двойника.

Технология цифровых двойников обеспечивает эффективный контроль и наладку прикладных программ со встроенными возможностями имитации.

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ В АСУ ТП НА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ “МИРТС”

Резервирование в АСУ ТП с цифровыми двойниками также имеет расширенные возможности при соответствующей поддержке от ВМ:

- В системе “МИРТС” поддержано резервирование на всех уровнях: входных и выходных сигналов, модулей УСО, каналов

связей, контроллеров, сетевых коммутаторов, АРМ операторов и серверов, баз данных и т.п.

- ВМ “МИРТС” реализует схему активного резервирования контроллеров, АРМ и серверов, обеспечивающую максимальную надёжность и устойчивость АСУ ТП: основной и резервный комплекты находятся в постоянной параллельной работе, передача данных осуществляется как по основному, так и по резервному каналу связи, схема резервирования для разных цифровых двойников может различаться (например, защиты дублируются, а для регуляторов реализуется 100% горячий резерв).
- Реализованная схема резервирования обеспечивает соответствие требованиям стандарта МЭК 61508 (SIL3).

ВОЗМОЖНОСТИ МАСШТАБИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАСШИРЕНИЯ АСУ ТП НА ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ “МИРТС”

Способ организации взаимодействия между цифровыми двойниками и возможности виртуальной машины МИРТС обеспечивают возможность широкого масштабирования и функционального наращивания АСУ ТП:

- Иерархически-компонентная структура прикладного ПО, построенного на моделях, обеспечивает простоту наращивания системы как по объёму, так и по функциям.

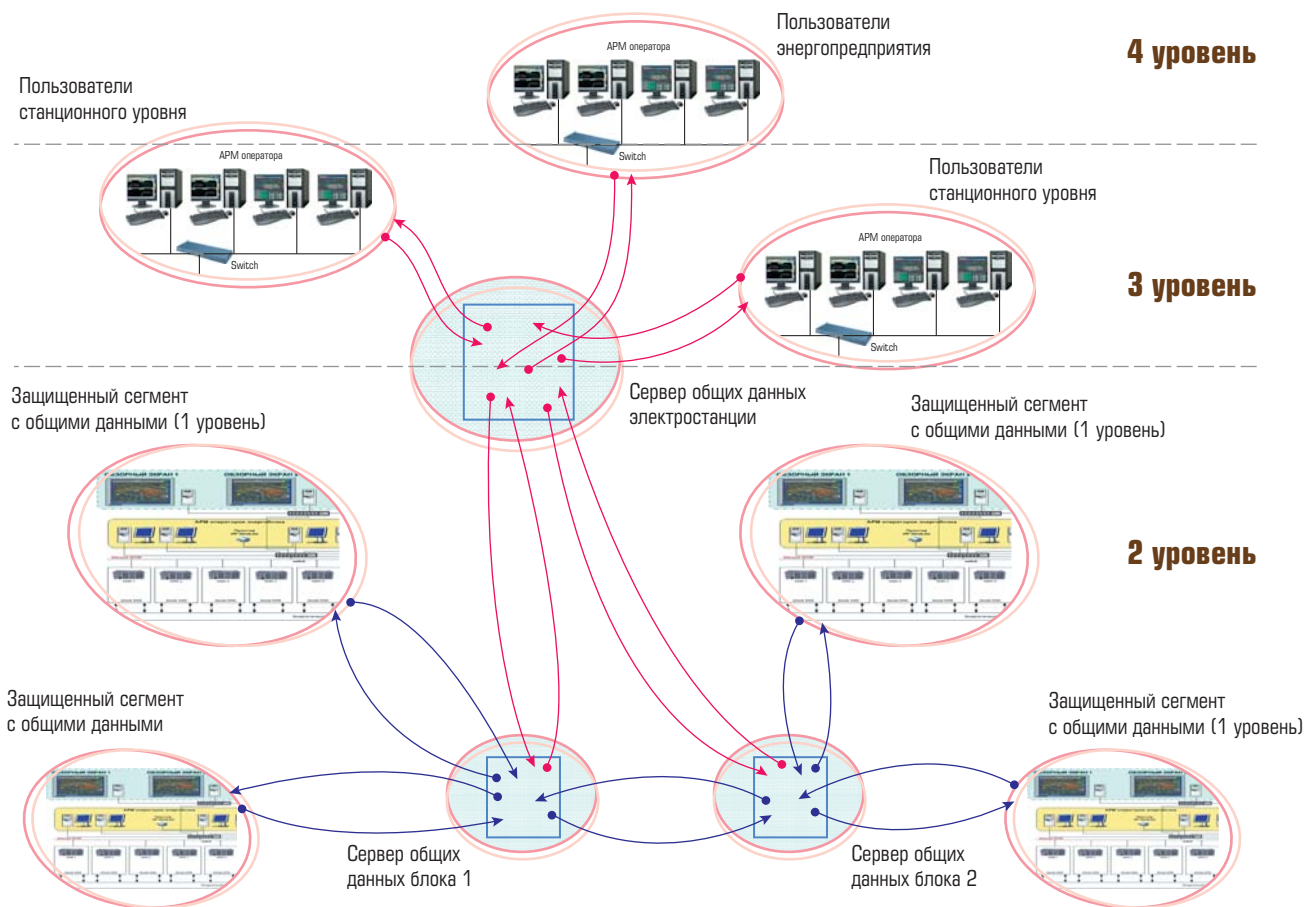


Рис. 15. Многоуровневая сетевая структура АСУ ТП на МИРТС

- Виртуализация обеспечивает эффективное объединение оперативных контуров управления в системы следующего уровня с широтой охвата до сотен тысяч элементов (рис. 15, рис. 16).
- Структура АСУ ТП, построенной из цифровых двойников, позволяет в дальнейшем наращивать функционал типового двойника расширенными возможностями диагностики, моделирования, прогностики и т.п. Функции могут быть реализованы как внутри модели, так и внешними задачами, интеграцию которых в систему обеспечивает ВМ “МИРТС”.
- При этом обеспечивается возможность двусторонней передачи данных: внешним функциональным модулям передаётся информация о технологическом процессе, а результаты внешнего моделирования через связанные с ними цифровые двойники отображаются на АРМ оператора, регистрируются в базах данных и могут быть использованы при выработке управляющих воздействий АСУ ТП.

Эффективность масштабирования и интеграции функциональных расширений моделей подтверждена опытом внедрений систем на базе “МИРТС”.

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ АСУ ТП НА БАЗЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

АО “НВТ-Системы” имеет 26-летний опыт внедрения АСУ ТП на базе цифровых двойников, подтвердивший высокую фактическую надёжность ФПО “МИРТС”. Создано более 120-ти крупных систем, включая системы ПАЗ на особо опасных объектах – до энергоблока мощностью 325 МВт включительно.

Технология цифровых двойников в ФПО “МИРТС” всесторонне проработана – от декомпозиции объекта при проектировании до резервирования моделей и наладки программ.

Все возможности системы, описанные в статье, имеют опыт внедрения и показали высокую надёжность в эксплуатации.

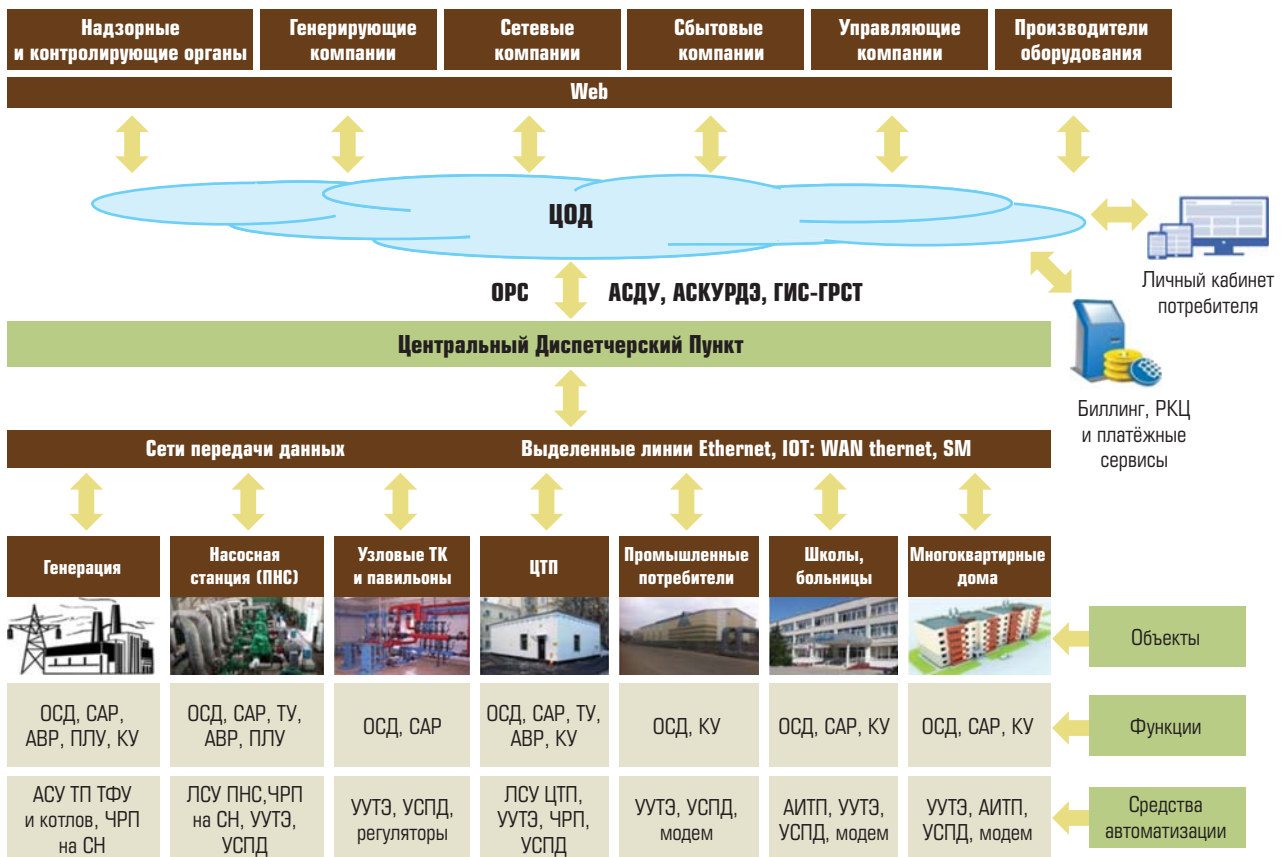


Рис. 16. Интеллектуальная сеть теплоснабжения города на МИРТС

Приведём примеры (табл. 1) модельной реализации ПО для АСУ ТП объектов из различных отраслей промышленности:

ЭФФЕКТ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ “МИРТС” В ПО АСУ ТП

Большой опыт внедрений позволяет оценить эффект от применения технологии цифровых двойников как основы создания ПО АСУ ТП. Как базу для сравнения примем распространённые системы технологи-

ческого программирования на языках стандарта МЭК 61131-3 (CodeSys, IsaGraph и т.п.) в комбинации с традиционными SCADA-системами.

Использование цифровых двойников “МИРТС” как основы ПО АСУ ТП обеспечивает следующие преимущества:

1. Значительное повышение надёжности работы ПО АСУ ТП за счёт детерминированности модели конечного автомата и сокращения числа устанавливаемых разработчиком связей между программными компонентами.

Таблица 1. Примеры модельной реализации ПО для АСУ ТП объектов из различных отраслей промышленности

№	Объект автоматизации	Количество моделей (цифровых двойников) в системе				Итого
		Системные	Технолог. 1-го уровня	Исполнительные устройства	Сложные алгоритмические	
1	АСУ ТП энергоблока 300 МВт	534	5637	1494	896	8561
2	АСУ ТП химводоочистки	420	2712	828	344	4304
3	АСУ ТП топливоподачи	70	633	189	105	997
4	АСУ ТП установки по производству стеклошариков	38	672	58	74	842
5	САУ крупного теплового пункта	23	196	13	28	260

2. Встроенная возможность моделирования объектов управления, значительно сокращающая объём наладочных работ на объекте.
3. Кроссплатформенность, переносимость и аппаратная независимость прикладного ПО, обеспечиваемая виртуализацией.
4. Значительное упрощение разработки сложных программ управления и диагностики, повышение уровня интеллектуальности АСУ ТП.
5. Значительное упрощение связывания динамических объектов изображения с их значениями в контроллерах и элементов управления SCADA с контроллерными программами за счёт многократного сокращения количества связей между ними.

Список литературы

1. Андрианов А.Н., Ефимкин К.Н., Задыхайло И.Б. Непроцедурный язык Норма и методы его реализации // Сборник “Языки и параллельные ЭВМ”. 1990, с. 1-37.
2. Агафонов В.Н. Спецификации программ: понятийные средства и их организация. – Новосибирск: Наука, 1990.
3. Менделевич В.А. Непроцедурный язык программирования – теоретическая и практическая основа программного обеспечения “САРГОН”. “Автоматизация и ИТ в энергетике”. 2016, № 12(89), с. 26-36.

Менделевич Владимир Анатольевич – канд. физ.-мат. наук, генеральный директор АО “НВТ-Системы”, доцент кафедры АСУ ТП Московского энергетического института.