

Платформа для создания стенда полунатурного моделирования на основе ПЛК «Багет»

С. Е. Базаева¹, Я. А. Зотов²

¹ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, bazaeva@niisi.msk.ru;

²ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, zotov@niisi.ras.ru

Аннотация. В статье описан проект программной платформы, предназначенной для создания стендов полунатурного моделирования и цифровых двойников АСУ ТП, в состав которых входит ПЛК «Багет». Предлагаемый авторами подход к разработке инструментальных средств построения стендов позволяет обеспечить современный набор функциональных возможностей для моделирования и широкую область применения платформы.

Ключевые слова: программная платформа, стенд полунатурного моделирования, АСУ ТП, ПЛК «Багет»

1. Назначение и область применения программной платформы

Программная платформа для создания стендов полунатурного моделирования и цифровых двойников (ПП ПСиЦД) предназначена для использования на этапах разработки, исследования и эксплуатации автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), в состав которых включен программируемый логический контроллер ПЛК «Багет» [1].

Созданный на основе платформы стенд может быть использован для моделирования в реальном времени работы АСУ ТП с целью отладки алгоритмов, для оценки, настройки и исследования параметров АСУ ТП, а также для создания тренажеров, на которых операторы смогут осваивать работу с АСУ ТП.

Полунатурные стенды и цифровые двойники – прекрасный инструмент для отработки действий АСУ ТП в нештатных ситуациях и накопления данных о функционировании АСУ ТП в целом с целью повышения качества и эффективности управления.

Порядок использования полунатурных стендов и цифровых двойников для проведения массовых испытаний с последующим анализом данных специфицирован в стандартах [2, 3, 4]. Данный способ разработки позволяет достигнуть более точного соответствия АСУ ТП требованиям, указанным в техническом задании, повысить надежность работы АСУ, а, следовательно, и всего объекта, под управлением автоматизированной системы.

Задача платформы ПП ПСиЦД состоит в том, чтобы предоставить разработчикам программного обеспечения АСУ ТП удобный и надежный инструментарий для создания полунатурных стендов и цифровых двойников, соответствующий современным требованиям, предъявляемым к системам разработки. Это позволит обеспечить отладку и исследование штатных алгоритмов управления в реальном масштабе времени.

2. Метод полунатурного моделирования

Метод полунатурного моделирования предполагает частичное использование штатной аппаратуры объекта-оригинала (то есть, моделируемого объекта) в составе стенда, что является основным преимуществом по сравнению с методом математического моделирования, при котором поведение всех компонентов объекта-оригинала должно быть формализовано и вычислено.

Задача формализации поведения технологического процесса целиком сама по себе является нетривиальной и в некоторых случаях, возможно, даже не имеет решения. В ходе построения математической модели сложного многокомпонентного технологического процесса неизбежно происходит упрощение объекта-оригинала, что снижает степень соответствия модели и исходного объекта. Как правило, математическая модель выполняет расчеты, касающиеся содержательной стороны технологического процесса, но не учитывает, например, компоненты, обеспечивающие интерфейс отдельных узлов объекта-оригинала. Также математическая

модель, требующая объемных вычислений, может использовать специальное модельное время, отличающееся от реального времени технологического процесса. Как показывает богатая история развития и применения методов математического моделирования, для широкого круга задач подобное упрощение вполне приемлемо. Однако в случае моделирования систем с жесткими ограничениями на время реакции, когда на счету миллисекунды, затрачиваемые на прохождение данных по каналам связи, более предпочтительным будет включение интерфейсных модулей и даже кабелей штатной длины в состав стенда, чем использование теоретических оценок времени передачи данных.

Поскольку полунатурные стенды и цифровые двойники устроены по одному и тому же принципу, далее будем рассматривать только полунатурные стенды.

3. Состав оборудования, используемого для функционирования ПП ПСиЦД

Начнем с описания АСУ ТП, для моделирования которой предназначена платформа ПП ПСиЦД.

Конфигурация АСУ ТП в одном из вариантов штатного исполнения представлена на рис. 1.

Данная система управления включает «бортовой» вычислитель (БЦВМ), исполняющий возложенные на него функции управления технологическим процессом, и ПЛК «Багет» в количестве, необходимом для реализации функций управления технологическим процессом на объекте управления (ОУ). В качестве БЦВМ может быть использована ЭВМ семейства «Багет» или ЭВМ с процессорной архитектурой Intel (ПК).

На ЭВМ семейства «Багет» должна быть установлена операционная система реального времени семейства ОСРВ Багет [5], на ЭВМ с процессорной архитектурой Intel должна быть установлена ОС семейства Linux.

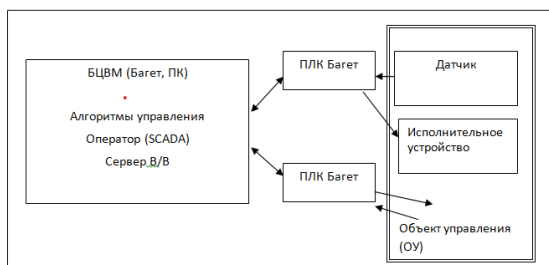


Рис. 1. АСУ ТП на основе ПЛК «Багет» в штатном исполнении

Объект управления обладает датчиками, которые служат источником информации о состоянии объекта, и исполнительными устройствами,

с помощью которых АСУ ТП воздействует на ОУ. Датчики и исполнительные устройства подсоединяются к ПЛК в количестве, определяемом конструкцией ПЛК и потребностями технологического процесса.

Функционирование системы контролирует оператор с помощью системы типа SCADA.

Передачу данных между программами, исполняемыми на БЦВМ, и ПЛК обеспечивает сервер ввода-вывода (Сервер В/В).

Использование АСУ ТП в любой области применения подразумевает наличие хранилища данных, необходимых для анализа работы системы. Задача организации сбора и хранения данных не представляет сложности для квалифицированного разработчика и имеет множество решений, поэтому компоненты системы, обеспечивающие данную функциональную возможность, не включены в схему на рис. 1.

Как указано выше, на рис. 1 представлен лишь один из вариантов аппаратно-программной конфигурации. В реальных условиях и в зависимости от решаемой задачи состав и конфигурация используемых компьютеров могут быть иными.

В простейшем случае при небольшой вычислительной нагрузке, с которой может справиться один ПЛК, алгоритмы управления технологическим процессом могут быть реализованы непосредственно на нем. Тогда на БЦВМ функционируют только система SCADA и сервер ввода-вывода, обеспечивающий передачу данных между SCADA и ПЛК. Принципы создания полунатурного стенда в такой конфигурации рассматриваются в [6].

В более сложном случае, при наличии нескольких ПЛК в системе, необходимо будет вынести алгоритмы управления всей конфигурацией на БЦВМ, агрегирующую данные периферии. Программы, исполняемые на ПЛК и обслуживающие отдельные крупные узлы объекта оригинала, должны быть синхронизированы с программами БЦВМ в реальном времени.

Конфигурация АСУ ТП становится еще более сложной, когда алгоритмы управления выполняются на нескольких ЭВМ, то есть, используют распределенные вычисления.

Однако в данном проекте мы будем ориентироваться на «скромный» вариант, представленный на рис. 1, поскольку, овладев методами отладки программного обеспечения АСУ ТП в указанных условиях, разработчик сможет в дальнейшем масштабировать свою деятельность.

Типовая конфигурация стенда полунатурного моделирования, используемого при функционировании ПП ПСиЦД, представлена на рис. 2.

Данный вариант стенда подразумевает использование штатных компонентов АСУ ТП (окружены пунктирной линией), в интересах которой выполняется моделирование, за исключением «оконечных» устройств (датчиков и исполнительных устройств объекта управления).

Отсутствующий объект-оригинал и входящие в его состав штатные устройства замещаются с помощью моделирующей среды, которая реализует модель объекта управления: принимает данные, направляемые бортовой ЭВМ через ПЛК на исполнительные устройства, изменяет состояние модели и передает данные, имитирующие работу датчиков, на ПЛК и далее на бортовую ЭВМ. Более детально структура моделирующей среды показана на рис. 3.



Рис. 2. Стенд полунатурного моделирования, на котором функционирует ПП ПСиЦД

В некоторых случаях реальные «оконечные» устройства могут быть без особого труда включены в состав полунатурного стенда. Например, штатные индикаторные панели, которые не отправляют данные на ПЛК, а только принимают сигналы, могут быть сохранены в составе полунатурного стенда вместе со своими интерфейсами. Также, в зависимости от требований к уровню адекватности и реалистичности моделей, могут быть использованы натурные имитаторы «оконечных» устройств и реальные пульта операторов технологического процесса.

Информация о функционировании стенда полунатурного моделирования накапливается в отдельном хранилище (на схеме не показано).

Оператор стенда управляет работой стенда с помощью системы типа SCADA: настраивает параметры и конфигурации, запускает эксперименты, инициирует нештатные ситуации.

Структура стенда, изображенная на рис. 2, не включает средств синхронизации ЭВМ, используемых на стенде, и средств имитации нештатных ситуаций. Более подробно эти вопросы рассматриваются в последующих разделах.

Детализированная структура моделирующей среды показана на рис. 3.

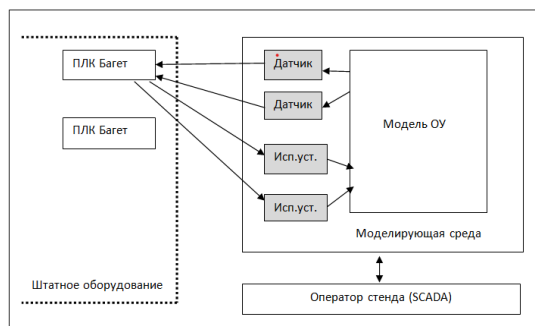


Рис. 3. Структура моделирующей среды в составе ПП ПСиЦД

Моделирующая среда реализуется на одной или нескольких ЭВМ (например, на ЭВМ с процессорной архитектурой Intel), объединенных локальной сетью. Программное обеспечение моделирующей среды (Модель ОУ) включает алгоритмы моделирования объекта-оригинала, которым управляет АСУ ТП.

Закрашенные серым цветом клетки включены в рисунок для пояснения структурных связей на стенде и обозначают датчики и исполнительные устройства ОУ, в реальности отсутствующие на стенде.

4. Состав программного обеспечения и алгоритм функционирования ПП ПСиЦД

4.1. Состав программного обеспечения ПП ПСиЦД

Программное обеспечение ПП ПСиЦД предлагается разрабатывать на языках Си и JavaScript. Эти языки программирования широко используются на различных архитектурах, что обеспечит мобильность ПО и облегчит сопряжение с имеющимися разработками. Язык JavaScript также позволяет формировать спецификации в виде текстовых файлов, что может быть удобно для инженерных работников, в компетенции которых не входит умение программировать на языке Си.

В состав программного обеспечения ПП ПСиЦД входят следующие компоненты:

- среда разработки;
 - среда выполнения;
 - подсистема управления выполнением;
 - подсистема хранения данных по экспериментам;
 - подсистема анализа данных моделирования.
- Основой для построения алгоритма функционирования ПП ПСиЦД являются:
- штатное программное обеспечение АСУ ТП;
 - набор программ, моделирующих поведение

реального оборудования, которое не представлено на стенде;

- программы и библиотеки функций, обеспечивающие взаимодействие реальной аппаратуры и ПО с моделирующей средой.

Платформа ПП ПСиЦД работает в следующих режимах:

- режим разработки и отладки моделей (работает программист-разработчик);
- режим конфигурирования и настройки работы стенда (работает программист-разработчик или инженер-экспериментатор);
- режим выполнения эксперимента по моделированию с использованием готовых конфигураций (работает инженер-экспериментатор или оператор стенда).

Работа с платформой ПП ПСиСД начинается с подготовки модели технологического процесса. При этом необходимо решить две важные задачи: определить правила передачи данных между штатной и моделирующей частями стенда и синхронизировать работу этих частей по времени.

4.2. Дисциплина синхронизации и обмена данными

Предлагается в рамках ПП ПСиЦД применить дисциплину синхронизации и обмена данными, построенную на принципах стандарта High Level Architecture (HLA) [7]. Данная дисциплина определит порядок передачи данных между штатным программным обеспечением, исполняемым на штатной вычислительной аппаратуре, и программным обеспечением моделирующей среды, которое исполняется на вычислительной аппаратуре, предназначенной для реализации процесса моделирования.

Основное требование дисциплины синхронизации и обмена данными состоит в том, что для передачи данных могут быть использованы только библиотечные функции, реализующие данную дисциплину.

Если программист-разработчик, работающий на платформе ПП ПСиЦД, создает (или адаптирует имеющиеся) модели в соответствии с установленной дисциплиной синхронизации и обмена данными, это гарантирует функционирование и совместимость моделирующей среды и штатного ПО независимо от предметной области моделируемой АСУ ТП, поскольку связь между ними экранирована библиотечными функциями и происходит только путем передачи значений параметров по заданному графику.

Обеспечение синхронной работы в реальном времени всех ЭВМ, входящих в состав стенда, является обязательным требованием для любого стенда полунатурного моделирования.

Технологический процесс на практике осуществляется в соответствии с заданным графиком: в установленные моменты времени опрашиваются показания датчиков (например, температура в печи, где выпекается хлеб, и значение таймера). Если температура ниже или выше той, что предусмотрена технологией, поступает сигнал на нагревательные элементы. По истечении интервала времени, определяемого таймером, испекшийся хлеб извлекается, а на его место поступает очередная партия сырых «заготовок». Затем процесс повторяется. График, в соответствии с которым протекает технологический процесс, обычно называют циклограммой.

Для правильной работы стенда полунатурного моделирования необходимо согласование реальной циклограммы объекта-оригинала и циклограммы моделирующей среды.

Реальная циклограмма определяет моменты времени, в которые происходит обмен данными с датчиками и исполнительными устройствами. В соответствии с реальной циклограммой строится циклограмма моделирующей среды, которая специфицирует допустимые кванты времени для выполнения моделирующих программ, чтобы обеспечить своевременную передачу данных между штатным ПО и программами моделирующей среды.

Для отработки стендовой циклограммы в состав ПО моделирующей среды включена программа-диспетчер, обеспечивающая обмен данными в заданные моменты времени. Программа-диспетчер инициирует моделирующие программы и контролирует соблюдение дисциплины синхронизации и обмена данными.

Циклограмма моделирующей среды должна быть представлена таким образом, чтобы инженер-экспериментатор мог специфицировать и/или модифицировать ее, не прибегая к ручному программированию (например, в формате текстового файла, диалоговом окне и т.п.). На основе сформированной спецификации генерируется массив данных, который программа-диспетчер использует как входной для отработки циклограммы на моделирующей ЭВМ.

Вопросы включения в стендовую циклограмму алгоритмов имитации помех, сбоев и отказов рассматриваются в последующих разделах.

4.3. Порядок проведения эксперимента

Готовый комплект моделей и сформированная циклограмма моделирующей среды позволяют приступить к следующему этапу – сборке загрузочных файлов для всех используемых на стенде ЭВМ с учетом условий планируемых экспериментов.

Для подготовки к запуску эксперимента

необходимо провести конфигурирование и настройку оборудования, а также выполнить сборку и загрузку исполняемых модулей на всех задействованных ЭВМ, после чего стенд будет готов к началу моделирования.

Непосредственно запуск подготовленного эксперимента выполняет оператор стенда, в роли которого может выступать сотрудник с ограниченным набором компетенций, ориентированных на указанную деятельность. Необходимо также возможность автоматизированного запуска серии экспериментов без промежуточного вмешательства оператора, например, в ночное время.

Оператор стенда контролирует работу стенда и управляет производимыми экспериментами с помощью системы типа SCADA. Результаты моделирования накапливаются в хранилище. Детальный анализ накопленных данных выполняется в офлайн-режиме с помощью подсистемы анализа данных моделирования.

Более детально функционирование ПП ПСиЦД с точки зрения используемого оборудования и программного обеспечения рассматривается в разделах, описывающих компоненты платформы.

4.4. Среда разработки моделирующих программ

Среда разработки предназначена для создания программных моделей, замещающих реальное оборудование на полунатурном стенде, а также для конфигурирования и сборки исполняемых модулей, обеспечивающих функционирование ПП ПСиЦД.

В случае необходимости функциональные возможности данной среды могут быть расширены за счет включения средств модификации штатного ПО. Целесообразность такого расширения очевидна при решении задачи прототипирования – когда разработчик штатного программного обеспечения по результатам моделирования видит недочеты и оперативно вносит изменения в штатные программы.

Ядром среды разработки должен быть репозиторий, в котором содержатся (и накапливаются по мере использования ПП ПСиЦД) модели разнообразных устройств и систем, библиотеки функций, реализующих протоколы обмена, и т.п. Среда разработки должна обеспечивать навигацию по репозиторию, поддержку версий и базовый набор моделей (как минимум, генераторов псевдослучайных чисел с заданным распределением).

Интерфейс среды разработки в формате панелей меню и диалоговых окон с включением графических изображений (по необходимости) должен предоставлять пользователю функцио-

нальные возможности, соответствующие современным стандартам:

- ввод и редактирование текста программы;
- компилирование и отладка программы;
- построение и редактирование циклограммы моделирования для дальнейшего использования программой-диспетчером;
- конфигурирование и сборка исполняемых модулей с использованием библиотек интерфейсных функций из состава ПП ПСиЦД и функций, реализующих дисциплину обмена данными.

Для разработки моделирующих программ необходимо наличие компиляторов для используемых языков, включая компилятор языков МЭК[8] для программ, исполняемых на ПЛК.

Завершив разработку всех требуемых моделирующих программ, необходимо определить порядок их запуска, то есть, сформировать циклограмму моделирующей среды. Данная циклограмма будет специфицировать строго упорядоченный по времени перечень действий, выполняемых программой-диспетчером в одном цикле своей работы.

Циклограмма состоит из последовательности тактов, длительность которых определяется длительностью такта в циклограмме функционирования моделируемой АСУ ТП. Для каждого такта устанавливается свой порядок вызовов процедур и обменов данными. При построении циклограммы моделирования необходимо учитывать требуемую периодичность вызовов отдельных процедур и операций приема/передачи данных при взаимодействии моделирующей среды и реального оборудования. Например, если передача параметра А происходит каждый такт, параметра В – в четных тактах, параметра С – каждый пятый такт, то циклограмма моделирования должна включать 10 тактов (рис. 4).

Параметры/ такты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
В		+		+		+		+		+
С					+					+

Рис. 4. Пример циклограммы для параметров, передаваемых с разной периодичностью

Таким образом, число тактов, включаемых в циклограмму моделирования, является наименьшим общим кратным наименьших номеров тактов (начиная с 1), в которых выполняется вызов процедур и передача данных.

Для обеспечения возможности адаптации и повторного использования уже готовых моделей необходимо предусмотреть инструментальные средства (шаблоны программ, библиотеки функций и пр.), обеспечивающие соблюдение дисциплины синхронизации и обмена данными на этапе выполнения.

Подготовив комплект моделей и циклограмму моделирования, можно приступать к конфигурированию и сборке исполняемых модулей для ЭВМ стенда.

Интерфейс среды разработки должен учитывать потребности как программиста-разработчика моделей, так и инженера-экспериментатора, в функции которого входит конфигурирование, настройка и сборка исполняемых модулей, но не входит ручное программирование: перечисленные манипуляции инженеру-экспериментатору следует проводить с помощью скриптов и комплектов конфигурационных параметров в диалоговых окнах.

Законченным результатом использования среды разработки является комплект исполняемых модулей для всех ЭВМ, входящих в состав полунатурного стенда или цифрового двойника.

4.5. Среда выполнения эксперимента

Среда выполнения обеспечивает проведение эксперимента, в ходе которого используется штатное ПО функционирует в связке с моделью объекта управления.

В задачи среды выполнения входит:

- загрузка и запуск исполняемых модулей на ЭВМ, входящих в состав стенда;
- отработка циклограммы моделирующей среды;
- реализация дисциплины обмена данными (синхронизация задействованных компьютеров, обеспечение и контроль передачи данных);
- отработка команд подсистемы управления выполнением, вводимых оператором процесса моделирования или заготовленных в виде программы эксперимента;
- формирование трассы (в случае режима отладки);
- передача данных о работе стенда в хранилище.

Со средой выполнения эксперимента работает оператор стенда, в роли которого может выступать инженер-экспериментатор или рядовой оператор. Интерфейс для взаимодействия со средой разработки реализуется в виде подсистемы управления выполнением.

При разработке стендов полунатурного моделирования, работающих в режиме реального времени, важно обеспечить синхронизацию часов ЭВМ, используемых в составе стенда, на протяжении всего эксперимента по моделированию, а также контролировать своевременную передачу данных между программами штатного ПО и программами моделирующей среды, поскольку при несоблюдении этих условий ухудшается качество результатов моделирования.

Для выполнения данных требований применяется дисциплина синхронизации и обмена данными.

В части синхронизации часов ЭВМ в распределенной системе вычислений предусмотрена передача синхронизирующего сигнала по локальной сети ЭВМ (рис. 5). На этом рисунке двойной сплошной черной линией обозначена локальная сеть Ethernet, используемая для синхронизации часов на всех ЭВМ стенда [9].

Периодичность подачи синхронизирующего сигнала зависит от временных параметров штатной АСУ ТП. Источником этого сигнала может быть алгоритм, исполняемый на моделирующей ЭВМ.

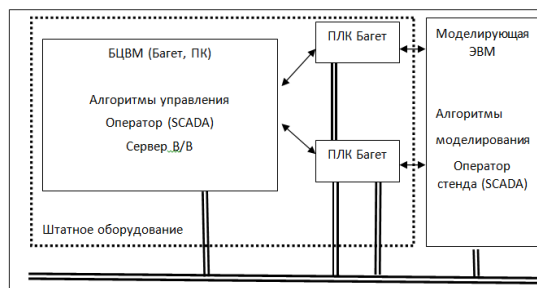


Рис. 5. Схема соединений для синхронизации часов на полунатурном стенде

В случае наличия средств синхронизации часов в составе штатной АСУ ТП допускается расширение области их действия на ЭВМ, входящие в состав стенда. Это позволит обрести требуемые функциональные возможности и одновременно сократить объем вмешательства в работу штатного аппаратного и программного обеспечения со стороны стенда.

В общем случае полунатурный стенд является распределенной системой, включающей несколько разнородных по функциональным возможностям ЭВМ, поэтому реализация интерактивного режима отладки с возможностью одновременной приостановки и пошагового выполнения программ для всех ЭВМ на стенде представляется неоправданно сложной и поэтому не включена в задачи среды выполнения. В качестве средства отладки ПО моделирующей среды предлагается использовать трассировку, для чего специфицировать отслеживаемые значения на этапе компиляции программы. Другими словами, интерактивная отладка моделирующих программ должна выполняться на этапе «черновых» версий в иных предназначенных для этого средах.

4.6. Подсистема управления выполнением эксперимента

Подсистема управления выполнением эксперимента принадлежит к классу SCADA-систем и

должна предоставлять соответствующие функциональные возможности применительно к задаче моделирования технологического процесса – планирование эксперимента, проведение эксперимента (в автоматическом режиме и «ручном» режиме с участием оператора стенда) и контроль выполнения эксперимента.

Диалоговые окна подсистемы управления выполнением эксперимента обеспечивают оператору стенда доступ к следующим возможностям:

- формирование плана эксперимента (выбор подготовленных в среде разработки исполняемых модулей, спецификация перечня запланированных отказов оборудования, помех и искажений информации, передаваемой между ПЛК и моделирующими программами, с привязкой к реальному времени, настройка средств отображения информации во время эксперимента);
- настройка аппаратной конфигурации стенда и подготовка стенда к проведению эксперимента;
- ввод команд оператора для управления работой стенда, в том числе, для загрузки и запуска исполняемых модулей, подготовленных в среде разработки;
- отображение информации о текущем состоянии стенда.

Подготовка к эксперименту начинается с составления его плана, который должен включать описание конфигурации оборудования, состав исполняемых модулей, спецификацию перечня запланированных отказов с привязкой к реальному времени и настройку средств отображения информации во время эксперимента.

Задача формирования плана эксперимента возлагается на инженера-экспериментатора.

Оператор стенда перед началом моделирования может выбрать план эксперимента и выполнить конфигурирование аппаратуры стенда, а также загрузку и начальную настройку системного и прикладного программного обеспечения.

Перечень требуемых от оператора действий и формат команд в значительной степени зависят от фактического состава стендового оборудования. Поэтому платформа ПП ПСиЦД для этих целей может предоставить только самые общие средства, например, окно терминала для выполнения скриптов с указанием параметров. Для того чтобы повысить удобство использования подсистемы управления выполнением эксперимента, следует предусмотреть возможность модификации и расширения элементов графического интерфейса подсистемы при адаптации к конкретному стенду.

На подготовленном к работе стенде запускается эксперимент и выполняется слежение за его

работой в соответствии с инструкцией.

Имитация отказов и других нарушений в работе оборудования может быть выполнена программным или программно-аппаратным способом.

Программный способ удобно использовать для моделирования неполадок в каналах связи ПЛК и моделей периферийных устройств (датчиков и исполнительных механизмов). В этом случае в циклограмму моделирующей среды включается вызов процедуры, которая в определенных тактах, например, заменяет «правильные» значения передаваемых параметров на «неправильные» в соответствии с планом эксперимента.

Программно-аппаратный способ подразумевает применение специальных дополнительных устройств (например, разрывных коробок), которые встраиваются в проводные соединения стенда и физически нарушают передачу электрического сигнала в заданный момент. Для управления подобными устройствами также необходимо включить вызов соответствующей процедуры в циклограмму моделирующей среды или вывести графический интерфейс управления отказами на экран оператора стенда.

Оператор стенда способен в «ручном» режиме вносить возмущения в работу моделей, меняя значения параметров с помощью команд в диалоговом окне. Целесообразность использования данной возможности зависит от предметной области, для которой выполняется моделирование.

Команды оператора стенда предназначены для управления работой стенда и включают возможность запуска/останова процесса моделирования, а также управление форматом данных, отображаемых на экране оператора, и накоплением данных о проводимом эксперименте.

Для автоматизированного проведения серий экспериментов следует предусмотреть возможность заготовки комплектов параметров/конфигураций/скриптов.

4.7. Подсистема хранения данных по экспериментам

Подсистема хранения данных по экспериментам должна обеспечивать типовые функциональные возможности базы данных: накапливание, хранение и выборку рядов данных.

Накапливаемые данные по экспериментам должны включать не только значения параметров различных типов, но и полную информацию об условиях проведения эксперимента, включая конфигурацию аппаратуры, оборудования и план эксперимента.

Доступ к подсистеме хранения данных по экспериментам может иметь не только оператор стенда, но и другие лица – инженер-аналитик,

программист-разработчик и пр. – через дополнительный терминал.

В качестве подсистемы хранения данных может быть использован внешний программный продукт сторонних разработчиков в случае согласования форматов хранимых данных.

4.8. Подсистема анализа данных моделирования

Подсистема анализа данных моделирования должна обеспечивать универсальные функциональные возможности для цифровой обработки накопленных данных: статистические исследования, различные виды графического представления.

Базовый вариант подсистемы анализа данных моделирования может быть доработан с учетом специфики области применения АСУ ТП, в частности, для удобного графического представления данных.

Доступ к подсистеме анализа данных моделирования может иметь не только оператор стенда, но и другие лица – инженер-аналитик, программист-разработчик и пр. – через дополнительный терминал.

Подсистемы хранения и анализа данных моделирования могут быть реализованы как единое целое в виде системы хранения и обработки данных моделирования.

5. Принципы реализации программной платформы ПП ПСиЦД

Недостатком большинства стендов полунатурного моделирования и систем разработки, применяемых при создании и эксплуатации этих стендов, является уникальность наработок и невозможность повторного использования в других проектах. Поэтому основными тенденциями в области полунатурного моделирования должны стать автоматизация процесса моделирования, расширение сферы применения методов моделирования и обеспечение совместимости и повторного использования программного обеспечения за счет применения стандартов [10].

Программная платформа ПП ПСиЦД была задумана и спроектирована как аппаратно-программный каркас, на основе которого разработчик, используя предоставленный инструментарий, сможет построить и эксплуатировать модель технологического процесса.

При выборе и проектировании инструментальных средств, предлагаемых для создания полунатурных стендов на основе ПЛК «Багет», были задействованы следующие базовые принципы:

- отсутствие привязки платформы ПП ПСиЦД в исходной конфигурации к какой-либо предметной области;
- полнота функциональных возможностей для решения задачи полунатурного моделирования, начиная с разработки программ моделей и до обработки результатов моделирования;
- соответствие современным методам создания, развития и сопровождения аппаратно-программных комплексов, включая графический интерфейс и возможности конфигурирования и настройки, а также средства расширения интерфейсов;
- обеспечение достоверности и точности результатов моделирования за счет использования специальных средств синхронизации времени на ЭВМ, входящих в состав стенда, и дисциплины обмена данными на основе стандарта HLA;
- совместимость по форматам данных с существующими внешними системами, реализующими дополнительные функциональные возможности (например, графическое представление информации, обработку big data, математические методы), для использования их в режиме off-line;
- возможность модификации в плане расширения доступного набора аппаратных интерфейсов, адаптации к новой аппаратуре и т.п.;
- обеспечение возможности повторного использования программ, разработанных ранее, за счет применения шаблонов программ и библиотек интерфейсных функций.

Востребованность систем разработки полунатурных стендов в сочетании с принципами, заложенными при выборе инструментальных средств, включенных в платформу ПП ПСиЦД, будет способствовать продолжительному существованию данного программного продукта в быстро меняющихся современных условиях нашей жизни.

6. Заключение

Полунатурное моделирование как один из этапов разработки разнообразных автоматизированных систем управления имеет богатую историю и широкую область применения. В современных условиях за счет интенсивного внедрения вычислительных средств и алгоритмов автоматизации в технологические процессы роль полунатурных стендов возрастает, поскольку именно возможность включения штатного вычислительного оборудования и программного обеспечения в состав стенда повышает точность и достоверность данных, получаемых в процессе моделирования, в результате чего деятельность разработчиков сложных систем на этапах

проектирования, прототипирования и испытаний АСУ становится более эффективной и менее затратной с экономической точки зрения.

Platform for HIL Simulation Based on the Baget PLC

Svetlana Bazaeva, Yaroslav Zotov

Abstract. The article describes the project of a software platform designed for HIL simulation and digital twins based on the Baget PLC. The approach proposed by the authors provide a full set of tool for HIL simulation and a wide application range of the platform.

Keywords: software platform, HIL simulation, automated process control system, PLC “Baget”

Литература

1. Промышленные контроллеры для «Росатома» построит создатель самобытных российских процессоров. Не «Эльбрус», не «Байкал» // Интернет-издание о высоких технологиях – CNews [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/top/2023-02-28_promyshlennye_kontrollery (Дата обращения: 04.09.2023).
2. ГОСТ Р 57700.22–2020 «Компьютерные модели и моделирование. Классификация»
3. ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения»
4. ГОСТ 16504–81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения»
5. Годунов А.Н., Солдатов В.А. Операционные системы семейства Багет (сходство, отличия и перспективы) // Программирование, 2014, № 5, с. 68-76
6. Зотов Я.А. Принципы построения стенда полунатурного моделирования для отладки АСУ ТП на основе ПЛК «Багет» // Программная инженерия, 2023, принято в печать
7. 1516-2010-IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Framework and Rules [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5553440> (Дата обращения: 17.10.2023).
8. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 «Контроллеры программируемые. Часть 3 Языки программирования»
9. Годунов А.Н., Хоменков И.И., Щепков В.Г.. Синхронизация системных часов в многопроцессорных системах // Труды НИИСИ РАН. 2021. Т. 11. № 3. С.29-35
10. Базаева С.Е., Зотов Я.А. Инструментальные средства разработки моделей технических комплексов // Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. 2022. Т. 12. № 4. С.5-14