

# Использование имитационного стенда при разработке систем автоматизированного управления

Окольнишников В. В.

Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН

## 1. Введение

В данной статье рассматриваются системы автоматизированного управления, характерной особенностью которых является участие человека в контуре управления. К таким системам относятся: автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ) – системы управления, предназначенные для контроля и управления оборудованием объекта автоматизации, автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), выполняющие более широкий набор функций по сравнению с АСДУ и другие.

Программное обеспечение таких систем представляет собой совокупность выполняющих определенные функции взаимосвязанных подсистем, центральной из которых является подсистема управления, выполняющая основную функцию – управление оборудованием и технологическими процессами. Поскольку АСУ ТП являются наиболее сложными системами рассматриваемого класса, дальнейшее изложение посвящено разработке, отладке, тестированию и сопровождению подсистемы управления АСУ ТП.

Подсистема управления включает программы контроля и дистанционного управления как отдельными объектами технологического оборудования, так и дистанционное и автоматическое управление функциональными группами объектов технологического оборудования. Разработка средств дистанционного управления отдельными объектами технологического оборудования и регулирования значений отдельных параметров, например, с использованием ПИД-регуляторов, хорошо изученная область в разработке АСУ ТП, поддерживаемая многими инструментальными системами, например, Trace Mode, ISaGRAF, Ultralogik и другие. Такие системы имеют собственные средства автономной отладки.

Разработка, отладка и настройка подсистемы управления АСУ ТП, обеспечивающей автоматическое управление группами или всеми объектами технологического оборудования для достижения экстремума некоторой целевой функции при соблюдении определенных технологических ограничений, наиболее трудоемкая область в разработке АСУ ТП.

Сложность реализации такой подсистемы управления заключается в невозможности комплексной отладки и тестирования подсистемы управления в полном объеме как на инструмен-

тальных средствах разработчика ввиду невозможности подключения реального оборудования и создания реальных ситуаций, так и на реальном объекте ввиду нецелесообразности или небезопасности искусственного создания всевозможных (в том числе и нештатных) ситуаций. Вместе с тем, отказ или неправильное функционирование подсистемы управления может принести значительный экономический или экологический ущерб, или привести к человеческим жертвам. Ввиду этого представляют интерес методы и их практическое использование для решения поставленной проблемы.

Наиболее подходящим методом решения этой проблемы является имитационное моделирование [1], а инструментом решения – имитационный стенд (ИС), включающий комплекс имитационных моделей, интегрированных с АСУ ТП. Под интегрированностью понимается использование в моделях интерфейсов некоторых подсистем АСУ ТП и исполнение моделей как составных частей АСУ ТП.

Статья посвящена рассмотрению возможностей использования ИС на различных этапах жизненного цикла АСУ ТП и практической реализации некоторых из этих возможностей при разработке АСУ ТП Северомуйского тоннеля (Байкало-Амурская магистраль).

## 2. Описание имитационного стенда

Под ИС в этой статье понимается взаимосвязанный комплекс программ и моделей, исполняющихся под управлением некоторой системы моделирования. Структура и использование ИС основывается на следующих двух положениях:

1. В качестве программ, включенных в состав ИС, используются реальные программы управления АСУ ТП и некоторые подсистемы, обеспечивающие их исполнение.
2. Эти программы включаются в ИС на самых ранних этапах разработки, развиваются и сопровождаются вместе с развитием ИС на всем протяжении жизненного цикла АСУ ТП.

Имитационные модели в составе ИС могут заменять некоторые не основные подсистемы АСУ ТП и внешнюю среду АСУ ТП, включающую модель оборудования. Такой подход используется в случаях невозможности тестирования программ управления на реальной системе, например, встроенного программного обеспечения летательных аппаратов [2], но может быть использован и

для промышленных объектов автоматизации. В зависимости от состава имитационных моделей ИС может использоваться на различных этапах жизненного цикла АСУ ТП и выполнять различные функции, рассмотренные ниже.

**Инструментальная среда разработки, отладки и тестирования.** Для функционирования ИС в этом качестве, ИС должен содержать:

- подсистему управления АСУ ТП;
- автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера;
- пополняемую библиотеку моделей объектов оборудования;
- средства имитации значений входных сигналов АСУ ТП;
- модель внешней среды.

Модель объекта оборудования должна иметь одинаковый с реальным объектом набор входных и выходных сигналов, одинаково реагировать на изменения входных сигналов и команд управления с воспроизведением задержки выполнения команды в модельном времени.

Использование модели объектов оборудования позволяет протестировать программы управления для всех ситуаций, как с полным, так и неполным комплектом оборудования, как с «исправным», так и с «неисправным» оборудованием.

При разработке имитационных моделей самой трудоемкой и неинтересной частью работы является разработка интерфейса пользователя с моделью. Включение АРМ диспетчера (оператора) в ИС позволяет исключить этот этап работы, отлаживать и тестировать подсистему управления и АРМ диспетчера «в связке».

Если для автономной отладки управления отдельными объектами оборудования достаточно имитации значений набора входных дискретных сигналов, то для комплексной отладки программ автоматического управления требуется модель внешней среды, имитирующей значения большой группы внешних аналоговых параметров, зависящих от состояния оборудования, стратегии управления и влияния внешних по отношению к АСУ ТП факторов.

Модель внешней среды может развиваться и уточняться по мере надобности и развития самих программ управления. Кроме того, модель внешней среды может играть роль «обратной связи» для решения оптимизационных задач.

Технология использования имитационного стенда в качестве инструментальной среды заключается в переносе проверенных программ из имитационного стенда в реальную систему без изменений кода программ, так как любые изменения требуют дополнительных отладочных действий. С другой стороны, любые изменения программ управления должны производиться в рамках ИС, что обеспечивает соответствие кодов программ в ИС и в реальной системе.

**Тренажер.** При наличии в составе ИС АРМ диспетчера ИС может выполнять функции тренажера для обучения диспетчеров. Все действия диспетчера, результаты работы автоматических программ управления и результаты работы моделей, включенных в ИС, будут визуализироваться на мониторе диспетчера точно так же, как и в реальной системе в определяемом моделями объеме. Кроме того, тренажер может использоваться для демонстрации работы системы либо в форме запуска специальной программы – Демо-версии, либо в форме сеанса работы с системой, выполняемой подготовленным специалистом.

**Подсистема АСУ ТП на этапах пусконаладки и опытной эксплуатации.** Процесс подключения реального оборудования объекта автоматизации может быть растянут во времени на этапах пусконаладки и опытной эксплуатации АСУ ТП. При этом готовую подсистему управления АСУ ТП приходится искусственно ограничивать объемом доступного в данный момент реального оборудования, а затем расширять по мере подключения нового оборудования.

Другим подходом является перенос полной версии подсистемы управления с имитационного стенда на неполную конфигурацию подключенного реального оборудования. При этом часть объектов управления являются реальными, а часть неподключенных объектов управления заменяются модельными объектами.

Такой подход имеет следующие преимущества:

- устраняются промежуточные этапы по настройке программного обеспечения под конфигурацию реального оборудования;
- становится возможной проверка программ управления в полном объеме параллельно с процессом подключения реального оборудования;
- становится возможной проверка других подсистем АСУ ТП на полном множестве входных сигналов параллельно с процессом подключения реального оборудования.

**Подсистема АСУ ТП на этапе эксплуатации.** Модель внешней среды может использоваться на этапе эксплуатации как самостоятельная подсистема АСУ ТП. Модель внешней среды выполняется параллельно с работой АСУ ТП. Входными данными модели являются текущие значения наиболее важных параметров, контролируемых АСУ ТП и текущее состояние объектов управления АСУ ТП.

Исполнение модели может происходить на одном из вычислительных средств АСУ ТП в темпе, превышающем реальное время. Полученные при исполнении модели выходные сигналы, снабженные особой пометкой, могут передаваться с помощью системы передачи сигналов АСУ ТП, архивироваться и визуализироваться, например, на другом мониторе АРМ диспетчера. Целью вы-

полнения модели является прогнозирование во времени состояния контролируемых параметров в зависимости от внешних событий и действий (или бездействия) диспетчера.

Заархивированные «будущие» значения контролируемых АСУ ТП параметров, полученные с помощью модели, можно сравнивать с реальными значениями этих параметров, полученных АСУ ТП в моменты, когда это «будущее» настанет. Такое сравнение позволит оценить качество модели, и ее ручную или автоматическую настройку.

Использование интегрированной с АСУ ТП модели, включенной в оперативный контур управления, позволяет:

- квалифицировать действия диспетчера;
- предупреждать о нежелательном развитии технологического процесса, возникновении нестандартных или аварийных ситуаций;
- выбирать наиболее оптимальный режим управления, связанный с экономией каких-либо ресурсов, например, электроэнергии.

#### «Источник» знаний для экспертной системы.

При создании экспертной системы по управлению в составе АСУ ТП для наполнения базы знаний наряду со знаниями экспертов по управлению, могут быть использованы результаты выполнения модели внешней среды в рамках ИС для каких-нибудь конкретных ситуаций.

### 3. Использование имитационного стенда при разработке АСУ ТП Северомуйского тоннеля

Северомуйский тоннель (СМТ) имеет длину 15,3 км и находится в эксплуатации с декабря 2003 года. Для безопасной эксплуатации СМТ на порталах и стволах тоннеля установлено около 200 единиц тепловентиляционного, запорного, осветительного и другого технологического оборудования. Для управления технологическим оборудованием СМТ в Конструкторско-технологическом институте вычислительной техники СО РАН разработана АСУ ТП СМТ [3], обрабатывающая более 2500 входных и выходных сигналов. В настоящее время АСУ ТП СМТ находится в опытной эксплуатации.

Одной из основных задач АСУ ТП СМТ является поддержание значений контролируемых параметров внутри тоннеля (температуры, скорости потоков воздуха, содержания радона и др.) в заданных пределах. Это регулирование осуществляется с помощью автоматического запуска программ автоматического управления при выполнении запрограммированных условий. Программы автоматического управления включают/выключают определенные группы или отдельные объекты тепловентиляционного оборудования (вентиляторы, калориферы) с соблюдением определенных технологических ограничений. Условием запуска программы автоматического управления является истинность, связанного с программой логического выражения.

В отличие от промышленных производств, в которых технологические процессы четко определены, алгоритмы управления для поддержания значений параметров воздуха в СМТ зависят от внешних условий (параметров микроклимата внутри тоннеля, сезонных колебаний параметров атмосферного воздуха, интенсивности движения железнодорожных составов). Программы, реализующие эти алгоритмы и условия их запуска, разрабатываются с помощью входящей в состав АСУ ТП СМТ системы технологического программирования «Конструктор программ управления», ориентированной на управляющий персонал АСУ ТП СМТ [4].

Особенностью разработки АСУ ТП СМТ является одновременная, начиная с этапа проектирования, разработка подсистемы управления и моделей в составе ИС. На разных этапах разработки использовался разный набор моделей. В полном варианте ИС АСУ ТП СМТ включает в себя следующие подсистемы АСУ ТП СМТ: подсистему управления, АРМ диспетчера, экран сигнализации, подсистему передачи сигналов – и следующие модели: модель оборудования СМТ, модель микроклимата тоннеля, модель наружного воздуха, модель движения железнодорожных составов. Схема имитационного стенда представлена на рисунке 1.

Сплошными линиями на рисунке изображена передача сигналов с помощью подсистемы передачи сигналов. Штриховая линия означает установку новых версий программ автоматического управления.

Место модели внешней среды, рассмотренной выше, в ИС АСУ ТП СМТ занимает модель микроклимата тоннеля. Входными данными этой модели являются количество и мощность включенного тепловентиляционного оборудования, определяемого моделью оборудования СМТ, температурой воздуха на поверхности в районах порталов тоннеля, определяемого моделью наружного воздуха, и интенсивностью движения железнодорожных составов, определяемой моделью движения железнодорожных составов. Выходными данными модели микроклимата тоннеля являются расчет-

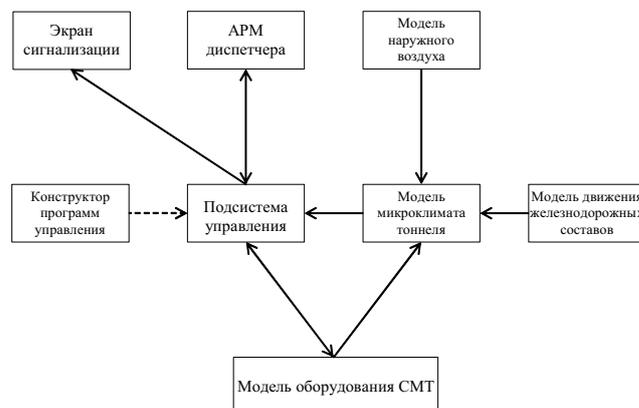


Рис. 1. Схема имитационного стенда АСУ ТП СМТ

ные значения температур и потоков воздуха в точках расположения датчиков входных сигналов АСУ ТП СМТ.

Модели наружного воздуха и движения составов являются простыми моделями. Они используют реальные данные по суточным и сезонным колебаниям температуры и реальное расписание движения по тоннелю железнодорожных составов. Самой сложной моделью является модель микроклимата тоннеля. Под микроклиматом понимается температура, давление и скорость движения воздуха в тоннеле. СМТ представляет собой сложную вентиляционную систему. Для расчетов потоков воздуха и температур СМТ представлен в виде ориентированного графа, имеющего 33 вершины и 47 дуг.

В настоящее время реализована упрощенная модель микроклимата тоннеля, определяющая установившееся распределение потоков воздуха внутри тоннеля с помощью решения системы алгебраических уравнений, составленных на основе первого и второго законов сетей. Такая упрощенная модель позволила отладить, протестировать и настроить программы автоматического управления. Но для использования в управляющем контуре АСУ ТП СМТ требуется более точная модель, которую предполагается реализовать с помощью решения системы дифференциальных уравнений в частных производных [5]. Модели, входящие в состав ИС АСУ ТП СМТ, исполняются под управлением системы моделирования Мера [6].

Имитационный стенд АСУ ТП СМТ имеет несколько вариантов использования: на автономной рабочей станции, на локальной сети рабочих станций верхнего уровня АСУ ТП СМТ, на реальной системе.

**В первом варианте** все компоненты ИС исполняются на одном компьютере. Этот вариант используется в качестве персональной инструментальной среды разработчиков АСУ ТП СМТ.

На этапе разработки и отладки дистанционного управления ИС включал в себя только подсистему управления, АРМ диспетчера и модель оборудования СМТ. На этапе комплексной отладки, разработки и тестирования программ автоматического управления ИС использовался в конфигурации, представленной на рисунке. На этапе пусконаладки и сдачи в опытную эксплуатацию все исправления и модификации в подсистеме управления проводились в рамках ИС, после чего готовые программы переносились в реальную систему. Эти действия проводились в Северомуйске при наличии там разработчиков АСУ ТП СМТ. При отсутствии разработчиков в Северомуйске эти действия проводились в Новосибирске. Готовые программы дистанционно загружались в контроллеры реальной системы, и осуществлялся дистанционный перезапуск контроллера. Наличие удаленного доступа к АРМ диспетчера АСУ ТП СМТ позволяло наблюдать результаты этих исправлений.

Для демонстрации возможностей АСУ ТП СМТ используется вариант ИС, установленный на Notebook. В настоящее время ИС является инструментом модификации и дальнейшего развития АСУ ТП СМТ.

**Во втором варианте** имитационный стенд был установлен на локальной сети рабочих станций верхнего уровня АСУ ТП СМТ в Новосибирске. Сначала подсистема управления и модели исполнялись на станции верхнего уровня под Windows. Затем в конфигурацию оборудования был включен программируемый контроллер, через который с помощью устройства сопряжения с объектом (УСО) были подключены физические макеты нескольких объектов реального оборудования. Подсистема управления была перенесена в контроллер под управлением операционной системы QNX-4 (операционная система реального времени семейства Unix). Средствами конфигурирования из модели оборудования СМТ были исключены модельные объекты оборудования, замененные физическими макетами. Таким образом, АСУ ТП СМТ функционировала с использованием, как модельных объектов оборудования, так и физических макетов оборудования.

Наличие моделей, входящих в ИС, позволило осуществить на этом этапе комплексную отладку всех подсистем АСУ ТП СМТ, создать для диспетчера приближенные условия, в которых он будет управлять реальной системой. Такой «гибридный» вариант АСУ ТП СМТ был временным, и был перенесен на реальную систему.

**В третьем варианте** ИС был установлен на реальной системе. Фактически процесс пусконаладки свелся к поэтапному переводу подсистемы управления с модельных объектов на реальные объекты оборудования, по мере физического подключения к АСУ ТП СМТ реального оборудования. Модели в составе ИС позволили продемонстрировать работу программ автоматического управления в полном объеме, например, выполнение зимних режимов работы программ автоматического управления летом.

В заключение следует отметить, что использование ИС на всех этапах разработки подсистемы управления АСУ ТП СМТ показало хорошие результаты, способствовало более быстрой и качественной разработке системы, сдаче в опытную эксплуатацию, сократило количество командировок разработчиков на реальный объект. В дальнейшем предполагается развитие АСУ ТП СМТ, подключение сигналов от сейсмодатчиков, использование ИС для моделирования чрезвычайных ситуаций, например, пожара или землетрясения.

Опыт использования ИС при разработке АСУ ТП СМТ может быть использован при разработке других систем автоматизированного управления.

### Литература

1. Лоу А.М., Кельтон А.Д. Имитационное моделирование. СПб. – 2004. – 846 с.
2. Баранов А.С., Грибов Д.И., Поляков В.Б., Смелянский Р.Л., Чистолинов М.В. Комплексный стенд математического моделирования КБО ЛА // Труды Первой Всероссийской научной конференции «Методы и средства обработки информации». — М.: МГУ, 2003. — С. 282–295.
3. Пищик Б.Н., Воронцова Л.А., Окольнишников В.В. и др. Разработка автоматизированной системы управления технологическими процессами Северомуйского тоннеля // Автометрия. — 2008. — Т. 44, № 3.
4. Chernakov D.V., Okol'nishnikov V.V. Control Program Development System // Second IASTED International Multi-Conference Automation, Control, and Applications. —Novosibirsk, 2005. — P. 142–145.
5. Тарасевич В.В., Мороз А.А., Окольнишников В.В. Математическая модель управления вентиляционным режимом Северо-Муйского тоннеля // Труды VI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». — Самара, 2004. — С. 397–402.
6. Окольнишников В.В. Разработка системы распределенного имитационного моделирования для различных операционных сред // Сборник докладов Второй Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД 2005). — Санкт-Петербург, 2005. — Т. 1. — С. 256–260.