

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**ИМИТАЦИОННЫЙ ПРОГРАММНО-
АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ
АСУ ТП ШАХТ И РУДНИКОВ**

Журавлев Сергей Сергеевич

Руководитель: д.т.н. Окольнішников Виктор Васильевич

*По материалам диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.13.11*

*(Математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей)*

Новосибирск – 2017

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП)



Контроллеры

Линия связи



Команды
управления

Сигналы
датчиков



Линия связи



Данные о
состоянии
контроллера

Сигналы
управления



Исполнительными
механизмами

Прикладное программное обеспечение (ППО)

Контроллеры и модули ввода/вывода (Локальные программы управления)



Рабочая станция оператора SCADA

- Программы управления SCADA системы.
- Визуализация состояния технологического процесса.

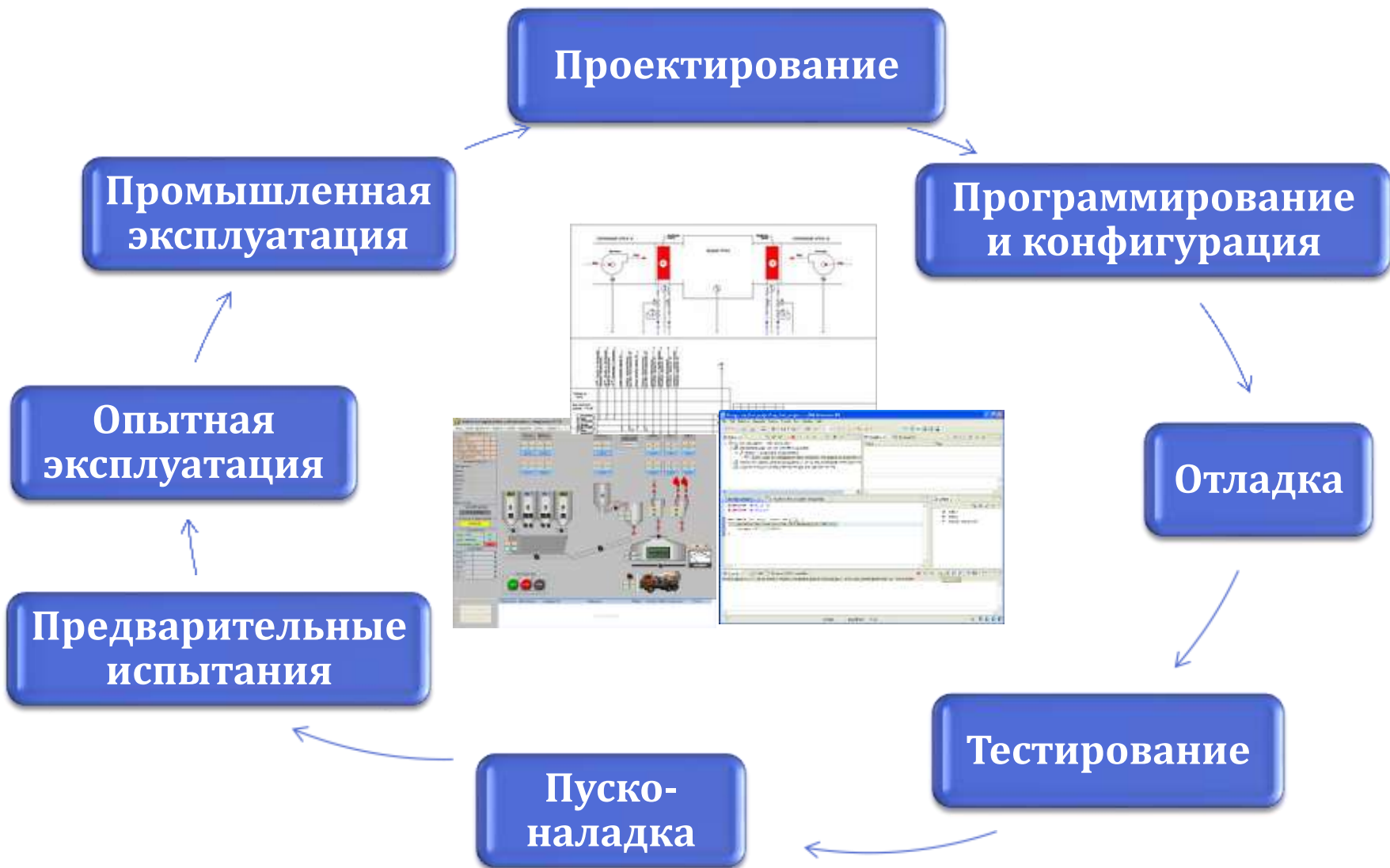


Датчики и исполнительные механизмы



Технологическое оборудование

Стадии проектирования программ управления ППО АСУ ТП



Актуальность

Ошибки в программах управления АСУ ТП могут приводить:

- ✓ на этапах пуско-наладки и опытной эксплуатации к **увеличению сроков и стоимости** ввода системы автоматизации в работу;
- ✓ на этапе эксплуатации к **возникновению аварийных ситуаций**.

ERROR



Необходимо наиболее полное тестирование программ управления АСУ ТП на предприятии изготовителе. Это позволит:

- ✓ повысить **безопасность**;
- ✓ **снизить расходы** на пуско-наладку и опытно-промышленную эксплуатацию;
- ✓ **упростить** сопровождение, модернизацию и оптимизацию программ управления.



Реальные ситуации неисправно функционирующего ППО

- В 1980-е годы **пять пациентов умерли** после получения большой дозы рентгеновского излучения в результате программной ошибки блока управления установкой лучевой терапии Therac-25. Программа пыталась **выполнять одну и ту же команду многократно**.
- 4 июня 1996 года **Ошибка** в программном обеспечении модуля управления ракеты Ariane 5 привела к ее **самоуничтожению** через 37 секунд после взлета.
- Knight Capital в 2013 г. **потеряла полмиллиарда долларов за полчаса** из-за того, что **компьютеры стали покупать и продавать миллионы акций** безо всякого человеческого контроля.



Цель работы



Разработка имитационного программно-аппаратного комплекса тестирования программ управления прикладного программного обеспечения АСУ ТП шахт и рудников, предназначенного для повышения надежности этих систем.

Научные и практические задачи

1. Анализ предметной области и постановка задачи исследования.
2. Исследование АСУ ТП и технологического оборудования конвейерных систем и систем водоотлива шахт и рудников. Разработка проблемно-ориентированных имитационных моделей.
3. Разработка имитационного программно-аппаратного комплекса для тестирования программ управления АСУ ТП шахт и рудников.
4. Синтез эталонных конечно-автоматных моделей типовых программ управления АСУ ТП угольных шахт для конвейерных систем и систем водоотлива.
5. Верификация адекватности разработанных алгоритмов комплекса, валидация разработанных имитационных моделей технологических процессов и апробация комплекса.

Структура работы

Введение

Глава 1. Методы и средства тестирования программ управления АСУ ТП на основе моделей

Глава 2. Модели технологического оборудования систем угольной шахты

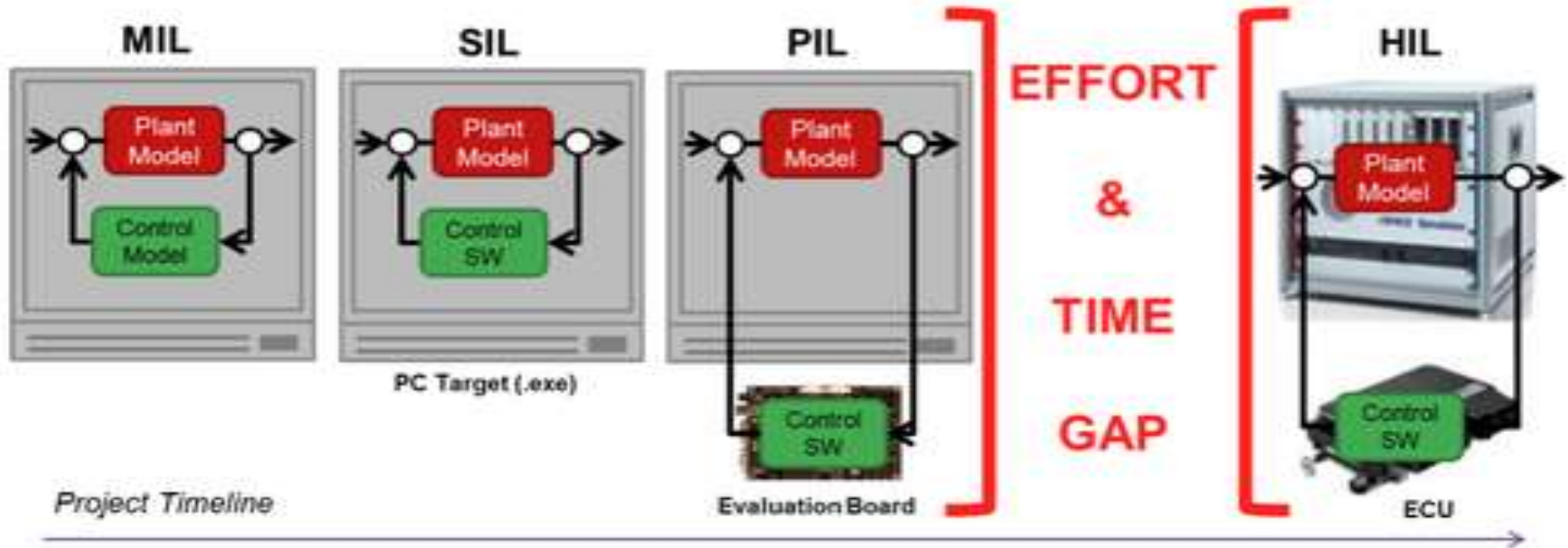
Глава 3. Имитационный программно-аппаратный комплекс для тестирования программ управления АСУ ТП

Заключение

Глава 1.

Методы и средства тестирования программ управления АСУ ТП на основе моделей

Методы тестирования программ управления АСУ ТП на базе моделей



Model-in-the-loop (MiL) для тестирования применяется модель контроллера.
Software-in-the-loop (SiL) – программный код управляющей программы или устройства.

Processor-in-the-loop (PiL) – отладочная плата с процессором, который будет в дальнейшем использован при разработке системы автоматизации.

Hardware-in-the-loop (HiL) – компонент АСУ ТП (данный подход используется в качестве тестов «заводской приемки» оборудования).

Физические имитаторы



Сигналы датчиков,
управление
исполнительными
механизмами



Команды
управления
оператора



Контроллер

Рабочая станция
оператора
SCADA



Физическая модель
технологического объекта

Имитаторы сигналов

Оборудование для генерации физических сигналов



Контроллер

Сигналы датчиков во внутреннем формате контроллера

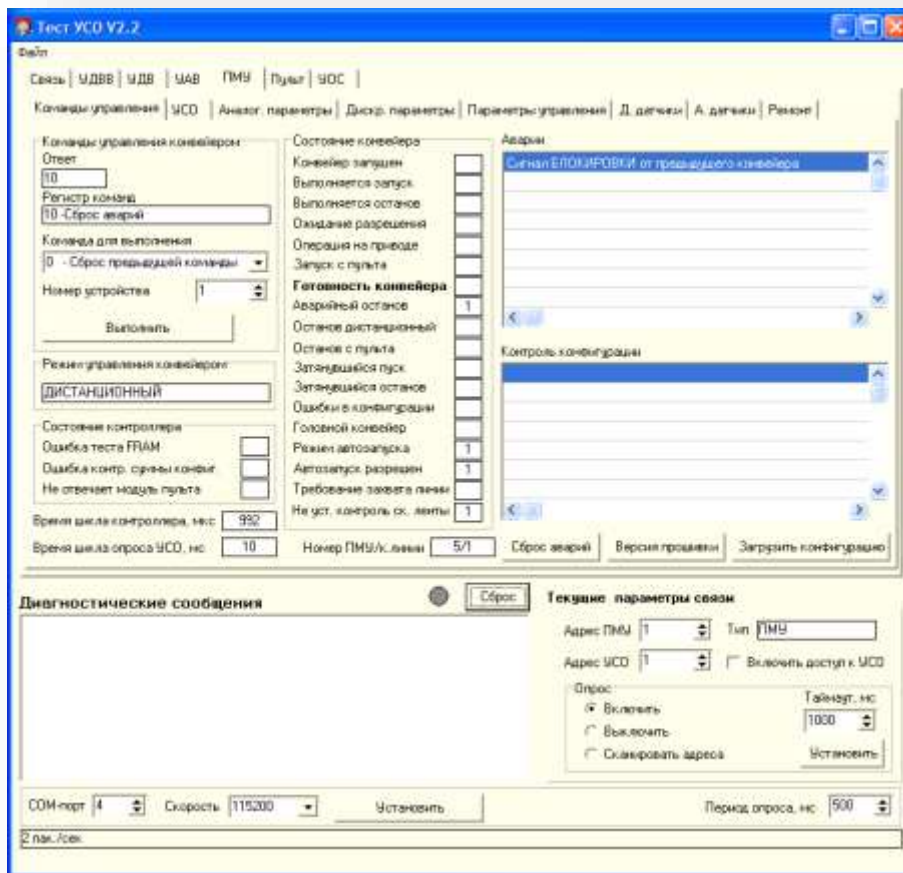


Рабочая станция оператора, имитирующая Программное обеспечение верхнего уровня

Имитаторы сигналов

Программное обеспечение имитации верхнего уровня

Оборудование для генерации физических сигналов



Специализированные программно-аппаратные комплексы

➤ Модель программы управления;

➤ Программа управления верхнего уровня;

➤ Отладочная плата;

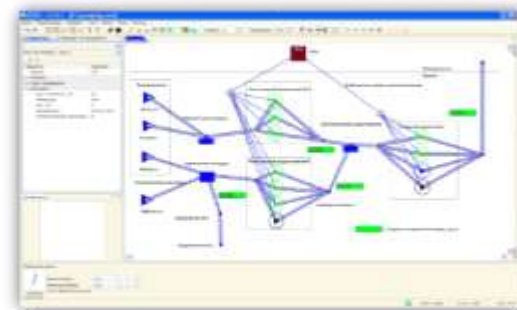
➤ Контроллер;

➤ Силовая автоматика.



Управляющие воздействия

Специализированное ПО комплекса, содержащее модель технологического процесса и/или ППО

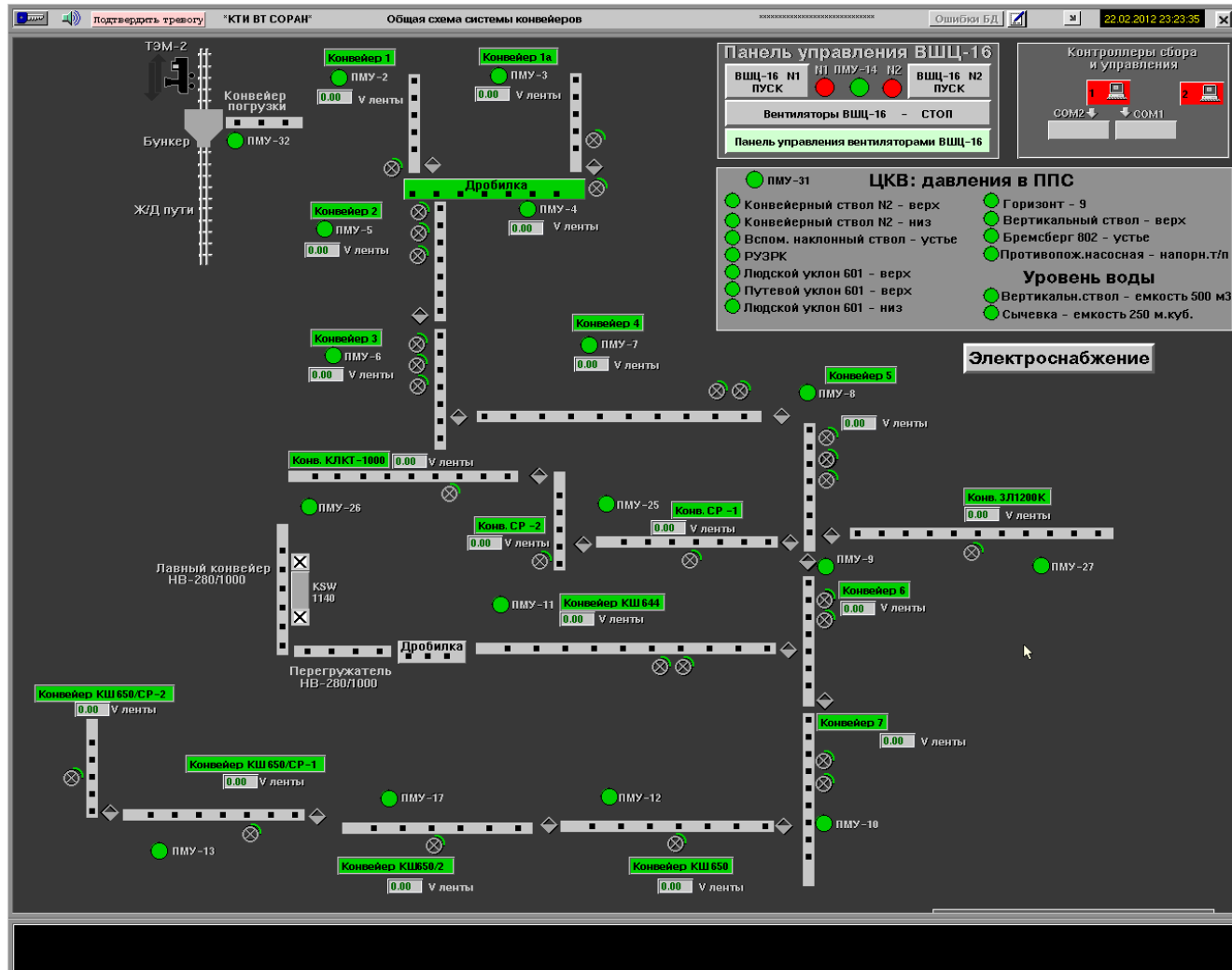


Сигналы датчиков

Глава 2.

Модели технологического оборудования систем угольной шахты

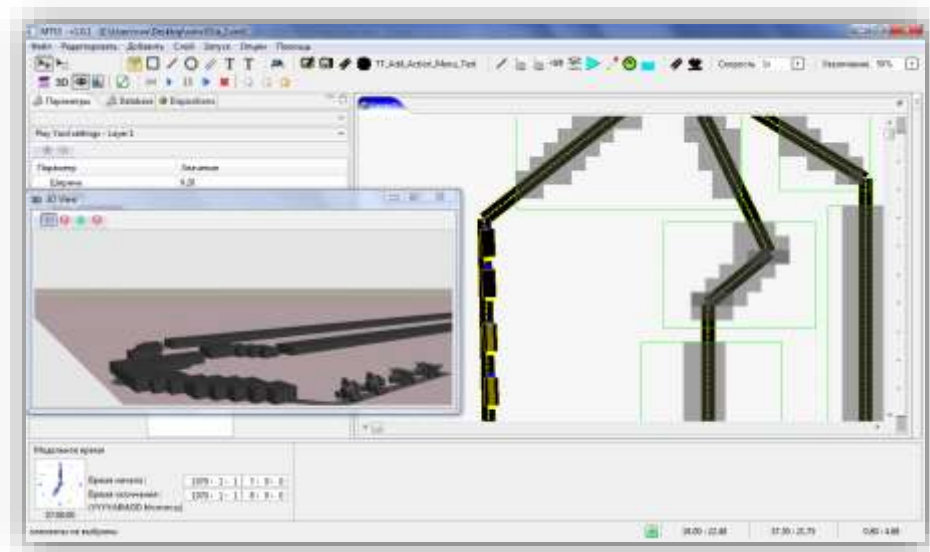
Технологический процесс транспортировки угля



Среды имитационного моделирования

Функция	MatLab Simulink	ExtendSim	Anylogic	GPSS World	MTSS
Применение универсального языка программирования для разработки моделей ТО					
Метод ИМ – динамич. системы					
Метод ИМ – дискр.-событийный					
Метод ИМ – агентное моделир.					
Метод ИМ – смешенное моделир.					
Разработка сценариев					
Интерфейс для пользователя модели					
Поддержка кроссплатформенности					

Визуально-интерактивная среда имитационного моделирования MTSS (Manufacturing and Transportation Simulation System)



MTSS разработана в КТИ ВТ СО РАН
к.т.н. Рудометовым С.В.

Особенности MTSS:

- ✓ Использование разработанных моделей технологического оборудования специалистами предметной области (инженеры АСУ ТП, программисты).
- ✓ Расширение возможностей среды моделирования разработчиком моделей технологического оборудования.

Язык разработки – Java,
платформа – среда Eclipse.

Требования к модели технологического оборудования

На основе обзора работ в области имитационного моделирования технологических процессов угольных шахт (**Конюх В.Л., Зиновьев В.В., Тайлоков О.В., Стургул Д.Р., Панащйоту Г.Н. и др.**) сформулированы требования к модели технологического оборудования.

Модель технологического оборудования должна обеспечивать:

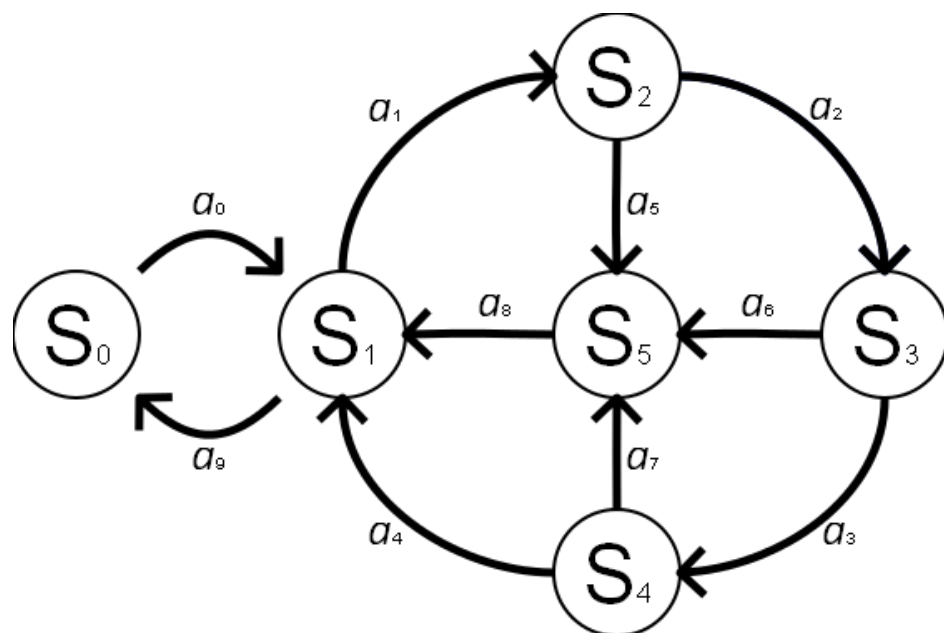
- ✓ имитацию логики функционирования технологического оборудования;
- ✓ имитационное моделирование значений аналоговых и дискретных сигналов датчиков технологического оборудования;
- ✓ возможность конфигурации параметров технологического оборудования;
- ✓ возможность выбора сигналов для тестирования;
- ✓ реализацию команд управления АСУ ТП.

Методика создания модели технологического оборудования

Разработка классов на языке Java на основе типовых шаблонов, обеспечивающих:

- ✓ создание условного графического изображения.
- ✓ задание списка входных и выходных сигналов.
- ✓ описание алгоритма функционирования, описывающего зависимости между параметрами.
- ✓ определение состояний, в которых модель технологического оборудования может находиться в процессе имитации.
- ✓ задание команд управления.
- ✓ добавление дополнительных блоков, выполняющих специализированные функции (например, интерфейс связи с внешней базой данных).

Конечный автомат имитационной модели конвейера



- S0 – инициализация;
- S1 – остановлен;
- S2 – запуск;
- S3 – работа;
- S4 – остановка;
- S5 – авария.

- a_0 – запуск имитации;
- a_1 – запуск конвейера;
- a_2 – достигнута номинальная скорость конвейерной ленты;
- a_3 – остановка конвейера;
- a_4 – конвейер остановлен;
- a_5 – получен аварийный сигнал;
- a_6 – получен аварийный сигнал;
- a_7 – получен аварийный сигнал;
- a_8 – экстренная остановка конвейера;
- a_9 – остановка имитации.

Представление модели технологического оборудования «Конвейер»

Команды

Длина конвейера, м	10000.00
Угол наклона, град.	7.20
Ширина ленты, м	1.20
Грузопоток	
Угольный поток	Настройка сценариев
Размер сегмента угольного потока, кг	50.00
Приемная способность, кг	100000.00
Электроэнергия	
Скорость	
Упрощенный расчет привода	Да
Номинальная скорость ленты, м/с	0.03
Изменение скорость, %	5.00
Приводная станция	
Количество двигателей	1.00
Мощность двигателя, кВт	45.00
Передаточное число редуктора	25.00
Радиус барабана, м	0.52
Тестирование	
Формирование сигналов датчиков	Да
Выбор датчиков	
Замещение программы управления	Нет
Номер тестируемого ПЛК	1
Тип тестируемого ПЛК	ПМУ

Диалог настройки сигналов

Запуск конвейера

Параметры

Сигнал:

Значение:

Идентификатор модуля:

Тип модуля:

Имитация модуля в/в:

Номер канала:

Управляющий сигнал:

Аналоговый сигнал:

Установить настройки

Завершить Отменить

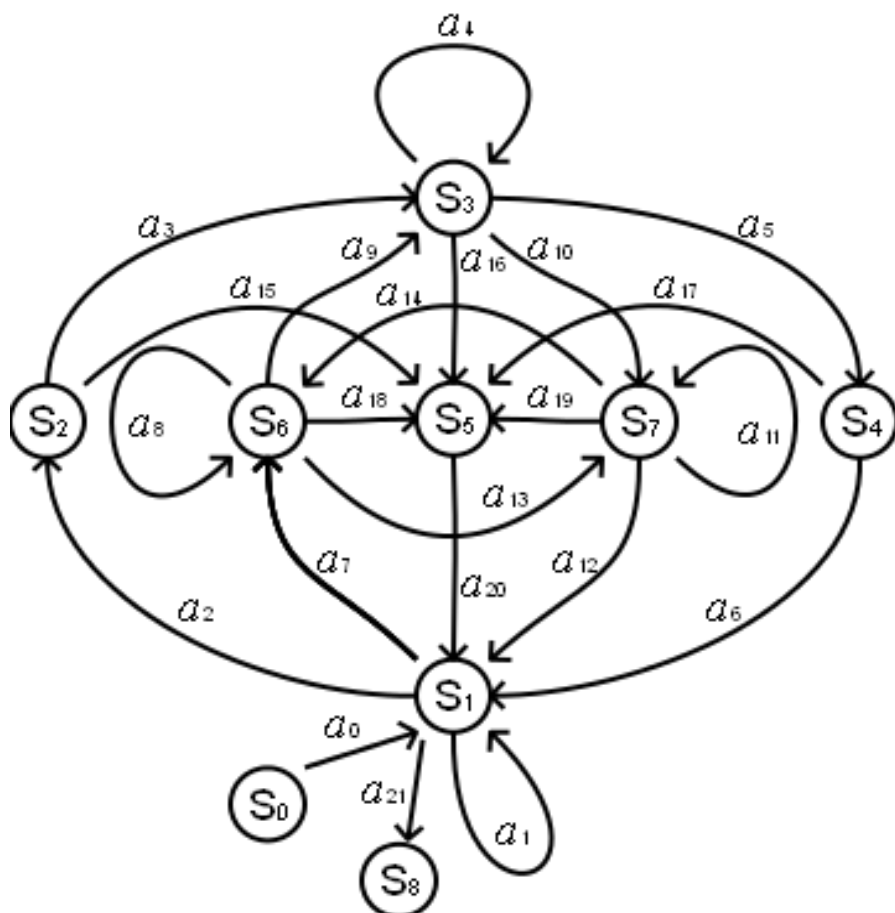
Свойства объекта, условное графическое обозначение и окно настройки тестируемых сигналов

Разработанные имитационные модели технологического оборудования

- ✓ Система подземной добычи: **забой.**
- ✓ Система конвейерного транспорта: **бункер, конвейер.**
- ✓ Система безопасности: **насос, водопровод, резервуар, источник технологических и грунтовых вод, вентилятор.**
- ✓ Система электроснабжения: **трансформатор, трансформаторная подстанция, линии электропередач.**

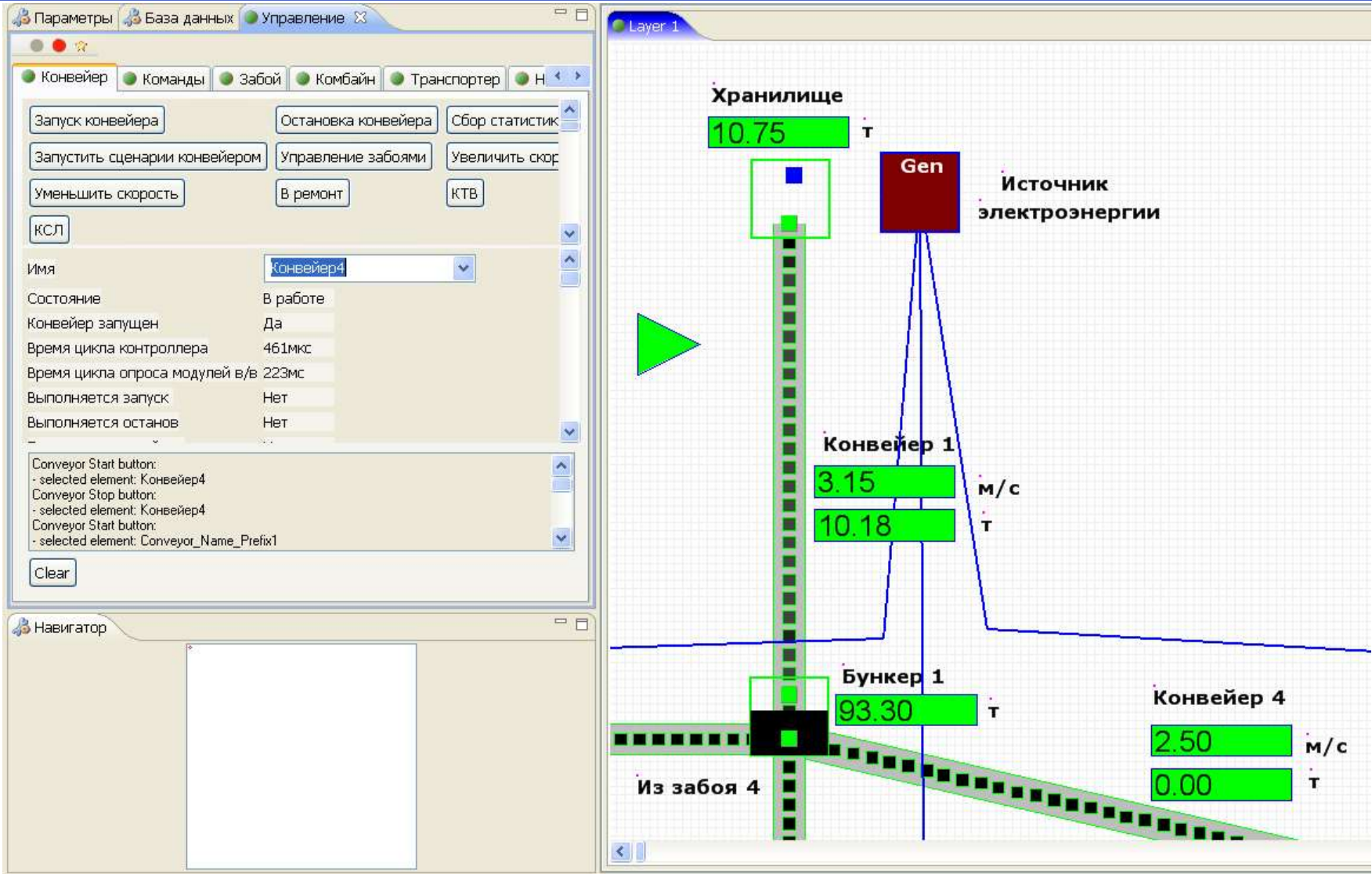


Конечный автомат функционирования модели АСУ ТП системы конвейерного транспорта



- S_0 – начальное состояние;
- S_1 – конвейерная сеть остановлена;
- S_2 – групповой пуск конвейерной сети;
- S_3 – работа конвейерной сети;
- S_4 – групповая остановка конвейерной сети;
- S_5 – авария;
- S_6 – пуск выбранного конвейера;
- S_7 – остановка выбранного конвейера;
- S_8 – окончание имитации конвейерной сети.

Фрагмент мнемосхемы модели конвейерного транспорта шахты «Распадская»



Проверка корректности моделирования технологических процессов

✓ Проверка адекватности имитационных моделей технологического оборудования и систем обеспечивается:

- использованием результатов натурального эксперимента;
- сопоставлением параметров модели с нормативно справочной информацией;
- использованием информации для разработки моделей из литературных источников;
- консультациями предметных экспертов.

Глава 3.

Имитационный программно-аппаратный комплекс для тестирования программ управления АСУ ТП

Структура комплекса

Программная часть

MTSS

Сервисное программное обеспечение

Модуль управления экспериментом

Модели модулей ввода/вывода АСУ ТП

Модели технологического оборудования

SCADA

Менеджер связи

Конфигуратор

Модели технологических процессов

Алгоритмы АСУ ТП верхнего и нижнего уровней



Рабочая станция оператора модели

Рабочая станция оператора SCADA



Канал обработки состояний датчиков

Канал отправки команд верхнего уровня и считывания состояния ПЛК

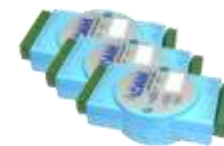
Канал эмуляции модулей ввода/вывода АСУ ТП

Преобразователи интерфейсов (USB / RS-485)

Аппаратная часть

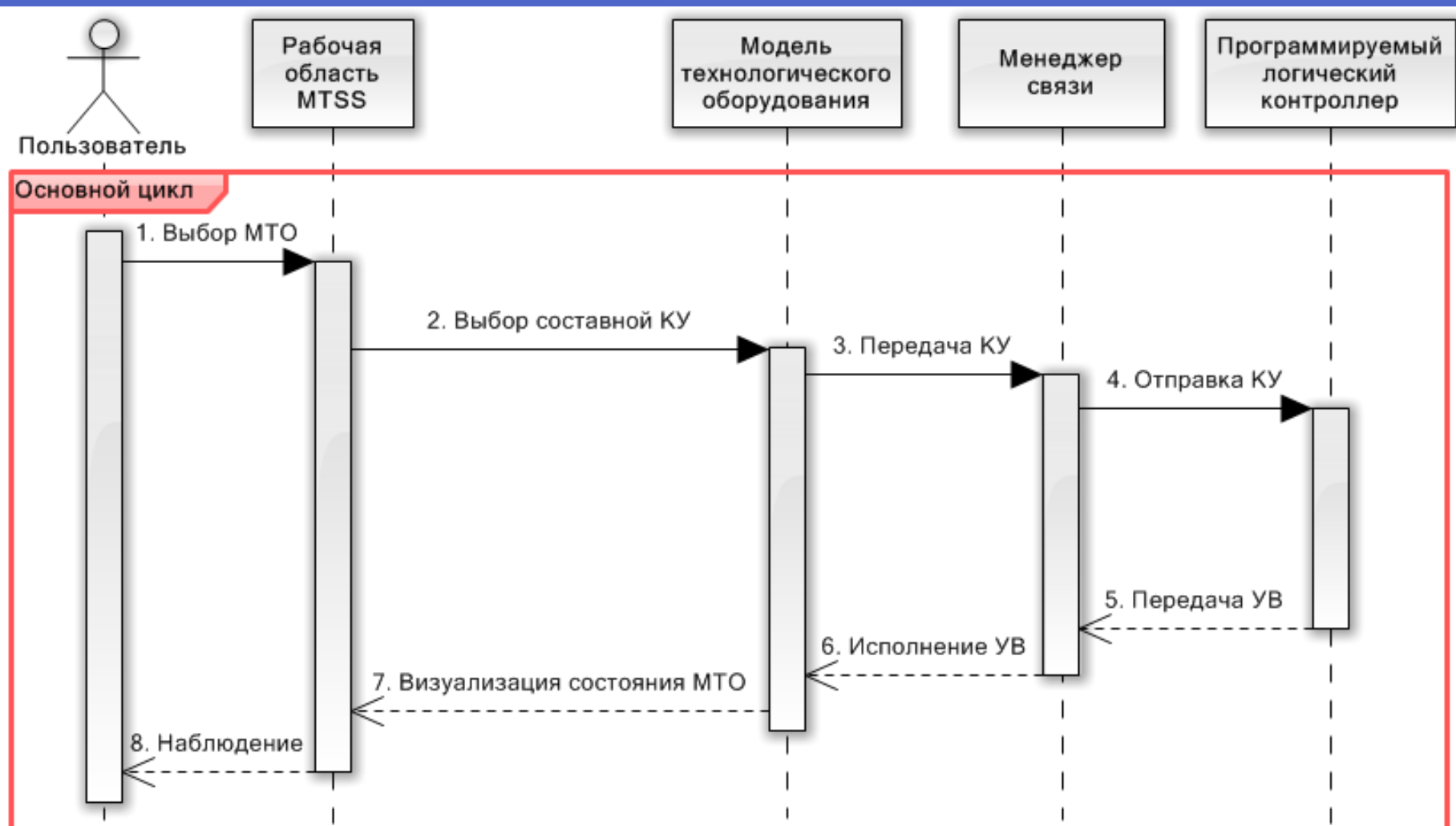
Тестируемое оборудование

Блок формирования физических сигналов



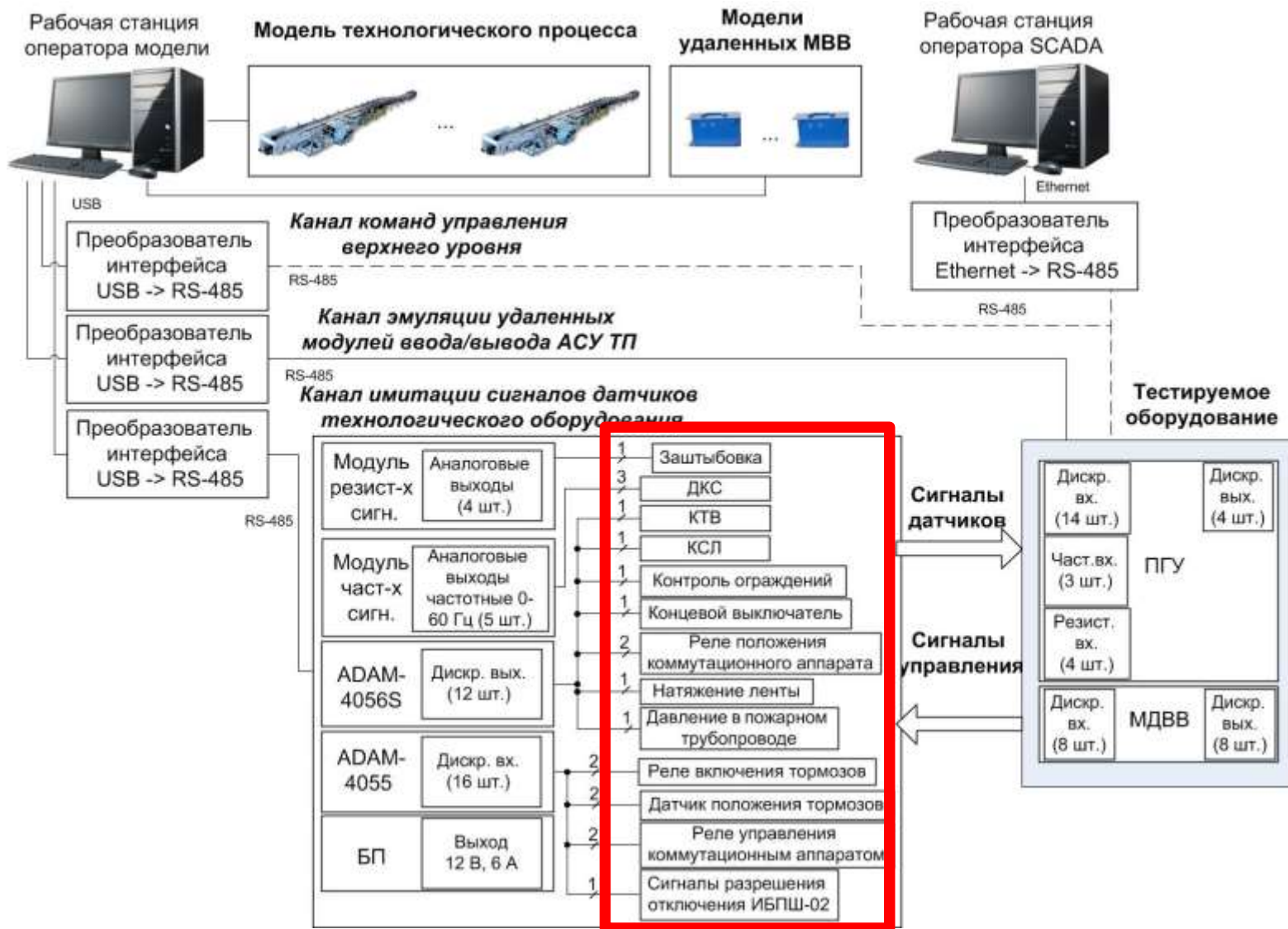
Аналоговые и дискретные сигналы

Фрагмент UML диаграммы последовательности функционирования комплекса – основной цикл



КУ – команда управления, МТО – модель типа технологического оборудования, УВ – управляющее воздействие.

Функциональная схема аппаратных средств для тестирования программ управления АСУ ТП конвейерного транспорта



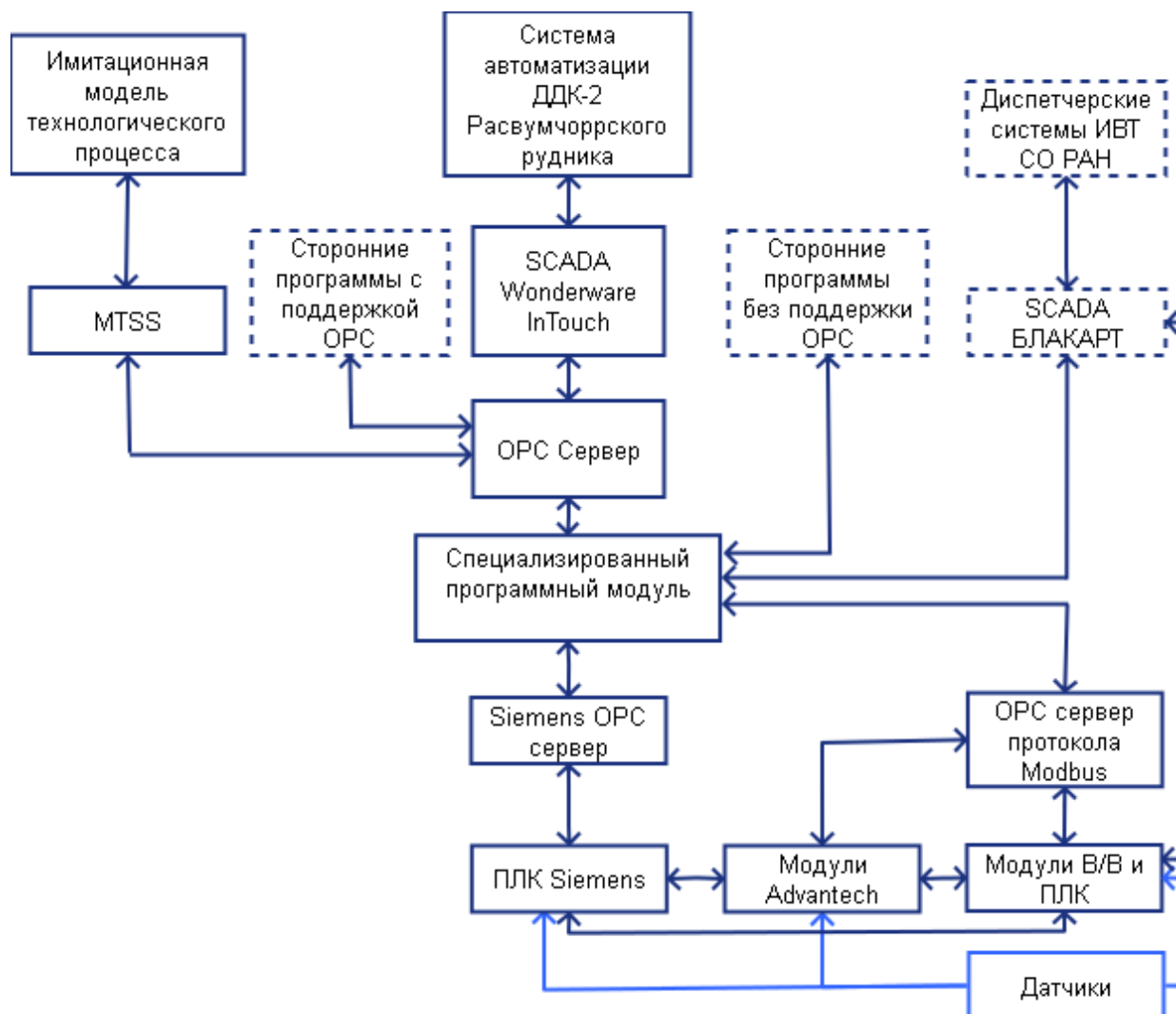
Имитационный программно-аппаратный комплекс



Унификация комплекса

- Расширяемая архитектура комплекса основана на использовании подхода <<In-the-loop>> и применении технологии OPC
- Стандартизированное отображение информации обеспечивается посредством реализации возможности подключения SCADA систем с помощью технологии OPC (например, TraceMode).
- Унификация комплекса на уровне подключения тестируемого оборудования АСУ ТП осуществляется путем использования оптимальных модулей ввода и вывода, входящих в состав блока формирования физических сигналов.

Усовершенствованная структура комплекса













































Функции специализированного модуля контроля и управления комплексом

В усовершенствованной структуре комплекса специализированный модуль контроля и управления комплекса выполняет следующие функции:

- тестирование алгоритмов прикладного программного обеспечения как с использованием модельных данных, так и без них;
- стандартизация визуализации модельных данных и обеспечение возможности взаимодействия с другими средами моделирования;
- унификация взаимодействия с аппаратным обеспечением комплекса;
- формирование единой конфигурации для выполнения экспериментов с различными компонентами АСУ ТП;
- предоставление пользовательского интерфейса управления функционированием комплекса.

Специализированные комплексы

Функция	WinMod	MiMiC	xPC Target (MatLab)	ГЭС (AnyLogic)	Полигон СибГИУ	ПАК ТПУ (MTSS)
Поддержка имитационного моделирования						
Поддержка промышленных интерфейсов						
Поддержка промышленных протоколов						
Поддержка кроссплатформенности						
Имитация ТП						
Наличие спец. библиотек для шахт и рудников						
Переключение между моделью и АСУ ТП						

Основные результаты

- ✓ Разработана специализированная библиотека проблемно-ориентированных имитационных моделей технологического оборудования подсистем угольной шахты: конвейерного транспорта и водоотлива.
- ✓ Предложена структура программно-аппаратного комплекса для тестирования прикладного программного обеспечения АСУ ТП и алгоритмы функционирования специализированного программного модуля обеспечивающего контроль и управления этим комплексом.

Практическая значимость

- Имитационный программно-аппаратный комплекс используется в ИВТ СО РАН при тестировании АСУ ТП угольных шахт (**акт о внедрении от 14.03.14**).
- Разработанные имитационные модели технологического оборудования применены при разработке Системы оперативного мониторинга технологической инфраструктуры нефтегазодобывающего предприятия, государственный контракт №02.514.11.4126 (**Акт №1 от 7.12.09, Акт №2 от 30.04.10, Акт №3 от 21.09.10**).
- Результаты диссертационной работы использованы при выполнении грантов РФФИ (№10-08-01211, №13-07-98023 **р_сибирь_а**, №16-07-01179 **А**, №16-47-420490 **р_а**).
- Результаты диссертации могут быть использованы при разработке новых и модернизации существующих АСУ ТП шахт и рудников, а также могут быть использованы при разработке систем управления в других отраслях.

Элементы научной новизны

- ✓ **Проблемно-ориентированные имитационные модели** технологического оборудования шахт и рудников, отличительными признаками которых являются совокупность процедур, выполняющих **согласованную генерацию параметров датчиков** соответствующего оборудования для целей тестирования программ управления прикладного программного обеспечения АСУ ТП.
- ✓ **Алгоритмы функционирования имитационного программно-аппаратного комплекса и специализированного программного модуля**, отличающиеся использованием совокупности методов тестирования программ управления прикладного программного обеспечения АСУ ТП, основанных на применении имитационных моделей технологических процессов, и позволяющий обеспечить поддержку жизненного цикла разработки прикладного программного обеспечения и достичь сокращения времени его разработки по сравнению с аналогами.

Публикации

Общее количество публикаций **41**, в том числе:

- статей опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК: **2**;
- статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах: **7**;
- свидетельств: **1**;
- тезисы и труды, опубликованные в научных сборниках и материалах конференций: **31**.

Паспорт специальности

Предполагаемая ведущая организация **Новосибирский государственный технический университет (НГТУ)**

Специальность: **05.13.11 Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.**

Области исследований (из паспорта специальности):

1. Модели, методы и алгоритмы проектирования и анализа программ и программных систем, их эквивалентных преобразований, верификации и тестирования.
3. Модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем.
10. Оценка качества, стандартизация и сопровождение программных систем.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт вычислительных технологий
Сибирского отделения Российской академии наук

Спасибо за внимание!

Журавлев Сергей Сергеевич

e-mail: s-zhur@yandex.ru