

ВВЕДЕНИЕ

В очередном тематическом номере журнала «Автоматизация в промышленности», посвященном моделированию технологических процессов в системах автоматизации, представлены статьи, охватывающие широкий круг задач, решений и отраслей производства.

Направление технической диагностики на базе имитационного моделирования представлено работами А. В. Сидорова и соавт. (контроль сложных технических объектов), С. И. Малафеева и Ю. В. Тихонова (диагностика состояния оборудования горных машин).

Эффективность использования строгих моделей для инжиниринга систем управления (в частности, для идентификации параметров регуляторов) показана в работе В. М. Каравайкова и И. О. Волкова. В статье Ю. С. Боровикова и соавт. строгое моделирование применяется для технологического инжиниринга сложных электроэнергетических систем.

Все большее применение в задачах автоматизации находят прогнозирующие модели. Л. А. Денисова предлагает адаптивную систему управления на основе предсказателя с обеспечением устойчивости работы за счет включения анализа устойчивости в адаптивный механизм. А. А. Гончаров и соавт. решают задачу непараметрической идентификации виртуальных анализаторов, предсказывающих качество продуктов нефтепереработки. А. П. Веревкин и Д. В. Калашник используют прогнозирующие модели (виртуальные анализаторы) для учета изменений параметров и показателей качества в сочетании с традиционными системами обеспечения промышленной безопасности (на примере установки полимеризации этилена).

О. Д. Антипов и соавт. описывают учебный комплекс для моделирования и управления, позволяющий на основе высокоточной имитационной модели технологического процесса воспроизводить

работу современной РСУ и системы усовершенствованного управления (СУУТП). Эта работа связана с тематикой номера двойко: моделируется работа самого технологического объекта, что позволяет решать задачи инжиниринга систем управления, а восстановленные по этой имитационной модели входо-выходные модели процесса служат для прогнозирования работы процесса в СУУТП.

Несколько статей относятся к моделированию производства в целом. В монографической статье А. В. Боршова представлен обзор современных подходов к моделированию динамики систем в бизнес-приложениях (от производства и логистики до военных действий и экосистем). Акцент делается на эффективности моделирования и выборе правильной архитектуры моделей (при необходимости — многоподходной). В работе К. А. Аксенова и соавт. описана система анализа, моделирования и принятия решений для металлургического предприятия с акцентом на интеграцию различных информационных систем с целью обеспечить согласованность и обоснованность решений по управлению производством. В статье В. В. Девяткова описывается система имитационного моделирования облачного типа GPSS Cloud.

Наконец, в статье А. Н. Варнавского моделируется деятельность работника для оценки качества человеко-машинной системы в зависимости от параметров организации труда (число регламентированных перерывов при различной начальной работоспособности, интенсивности утомления и восстановления).

Редакция благодарит авторов за активность и готовность к сотрудничеству на стадии подготовки публикаций. Надеемся на новые продуктивные встречи с авторами и читателями в следующих тематических номерах по моделированию.

Редакция выражает благодарность за помощь в подготовке номера Виктору Михайловичу Дозорцеву — д-ру техн. наук, профессору, члену редакционной коллегии журнала "Автоматизация в промышленности".

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ КОНТРОЛЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Сидоров, В.В. Третьяков, Д.Н. Баранов (ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова)

Контроль работоспособности сложных технических объектов (СТО) осуществляется с использованием специализированной контрольно-измерительной аппаратуры по программам контроля. Для обеспечения требуемого качества программ контроля СТО предлагается использовать интегрированную среду разработки. Входящая в ее состав система имитационного моделирования позволяет выявлять ошибки и подтверждать диагностические свойства программ контроля путем проведения имитации неисправностей СТО.

Ключевые слова: техническая диагностика, контрольно-измерительная аппаратура, программа контроля, отладка, диагностические свойства, система имитационного моделирования, универсальная агрегативная модель.

Введение

Рассматриваемые в настоящей работе сложные технические объекты (СТО) представляют собой системы, объединяющие электромеханические, механические, оптические, электронные и прочие устройства, соединенные между собой значительным числом функциональных связей и, как правило, обладающие уникальными техническими характеристиками. Отличительной особенностью рассматриваемых СТО является разнородность информационных

сигналов и различных временной масштаб протекающих в них физических процессов.

В настоящей работе рассматривается роль имитационного моделирования в процессе разработки программ контроля указанных систем.

Вопросы обеспечения качества программ контроля СТО

Процессы разработки и эксплуатации СТО предусматривают средства контроля различных технических состояний: исправного, работоспособного, правиль-

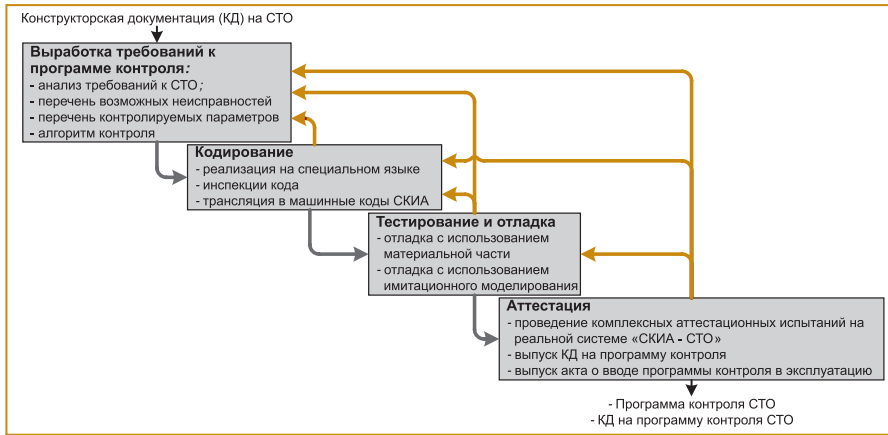


Рис. 1. Водопадная модель процесса разработки программ контроля СТО

ного функционирования, а также поиска неисправностей с глубиной до уровня функциональной или конструктивной части.

На практике конструкторская документация наиболее часто требует осуществлять контроль работоспособности, поэтому в дальнейшем рассмотрению подлежит только работоспособное состояние СТО.

Контроль работоспособности СТО проводится с использованием специализированной контрольно-измерительной аппаратуры (СКИА). Последняя должна регистрировать неисправности и измерять параметры СТО в соответствии с заданными перечнями неисправностей и контролируемых параметров путем выдачи на СТО воздействий, измерения отклика на выданные воздействия и оценки состояния составных частей СТО. СКИА осуществляет проверку СТО по программам контроля, написанным на специальном языке.

В силу высокой ответственности программ контроля СТО особое внимание уделяется обеспечению их качества. Качество в [1] определяется как совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенным требованиям и потребностям конечного пользователя в соответствии с ее назначением. Высокие требования предъявляются к диагностическим свойствам программ контроля (способности регистрировать неисправности), определяемым конструкторской документацией на СТО.

Качество ПО является интегральной характеристикой и, согласно приведенным в [2] моделям качества, обеспечивается совокупностью мероприятий на всех этапах разработки. Традиционный процесс разработки программ контроля СТО описывается представленной на рис. 1 водопадной моделью.

Основное внимание уделяется этапу тестирования и отладки, на практике он оказывается наиболее трудоемким и занимает порядка 50% от общего времени разработки. Обозначенный этап включает основные работы по исследованию диагностических свойств программ контроля СТО и, следовательно, оказывает наибольшее влияние на качество ПО. Отладка программ контроля требует применения следующей материальной части:

- комплекса СКИА, подключенного к ЭВМ общего назначения;
- опытного образца СТО;
- комплекта принадлежностей и оборудования, обеспечивающего связь между СКИА и СТО;
- оборудования, имитирующего неисправности СТО.

Такой подход к отладке и исследованию диагностических свойств программ контроля имеет ряд недостатков:

- отсутствует возможность проведения отладки программ контроля до изготовления опытного образца СТО и выявления схемных ошибок на ранних этапах проектирования в связях системы «СКИА — СТО»;

– отсутствует возможность отладки программ на большом числе рабочих мест разработчика (ограниченное число комплектов СКИА);

– существует сложность (или принципиальная невозможность) физического моделирования неисправностей, обусловленная схемно-конструктивными особенностями СТО и СКИА, что не позволяет достичь требуемой глубины и полноты диагностирования неисправностей;

– требуются существенные временные затраты и расход ресурса дорогостоящих составных частей СТО при многократных прогонах программы контроля;

– отсутствуют современные средства разработки программ контроля.

Для устранения указанных недостатков авторами предложен и реализован метод отладки программ контроля и исследования их диагностических свойств с использованием имитационного моделирования (системы имитационного моделирования «СКИА — СТО»).

Система имитационного моделирования «СКИА — СТО» обеспечивает:

– выявление, локализацию и исправление ошибок программ контроля без использования материальной части;

– подтверждение диагностических свойств программ контроля путем имитации неисправностей СТО.

Структура системы моделирования СКИА — СТО

Как показывает мировая практика, интегрированные среды разработки являются основным инструментом при реализации различных проектов и решений. Программы контроля современных СТО обладают достаточно сложными и разветвленными алгоритмами. В связи с этим авторами спроектирована и внедряется интегрированная среда разработки программ контроля СТО — TSDK (Tester Software Development Kit), оптимизированная под современ-



Рис. 2. Система моделирования СКИА – СТО в архитектуре TSDK

ные потребности, методы проектирования и требования к программам контроля. Система моделирования СКИА – СТО является базисом и интегрирована в TSDK в качестве программного симулятора, который применяется, например, при разработке ПО:

- современных смартфонов, например ADT (android development tools);
- микроконтроллеров, например IDE Keil (<https://keil.com/download/product>), IAR.

Структурная схема системы моделирования СКИА – СТО представлена на рис. 2 и состоит из: платформы моделирования; модели исполнения программ контроля СТО комплексом СКИА; модели СТО.

Технология построения имитационной модели

В силу разнородности составных частей для формализации системы СКИА – СТО наилучшим образом подходит агрегативная математическая схема [3].

Система моделирования СКИА – СТО спроектирована для обеспечения отладки программ контроля, поэтому моделированию подлежат лишь те процессы, которые позволяют производить оценку состояния СТО или приводят к его смене. Это утверждение позволяет исключить из моделей составных частей СТО сложные расчеты переходных процессов, которые заменяются событиями, происходящими в дискретные моменты времени. Предложенному подходу наилучшим образом соответствует технология дискретно-событийного моделирования.

Применение систем, обладающих собственными языками имитационного моделирования, оказывается неэффективным из-за их избыточности и необходимости проводить идентификацию объектов, имеющих в системе абстрактные обозначения. Современные языки общего назначения (ЯОН) позволяют разработчику определять структуру приложения, обеспечивая компромисс между простотой и функциональностью. Парадигма объектно-ориентированного программирования, поддерживаемая многими ЯОН, в сочетании с элементами функционального программирования позволяет выстраивать иерархию классов в терминах проблемной области. Для разработки среды TSDK и ее подсистем выбран ЯОН C#, так как особенности использования ЯОН являются определяющими в силу специфики, высокой сложности и ответственности СТО.

В настоящее время существуют специализированные библиотеки моделирования, разработанные для конкретного ЯОН и совмещающие «сильные» стороны специализированных пакетов моделирования с преимуществами ЯОН. Примерами таких библиотек служат C++Sim [4] и SimPy (<http://simpy.readthedocs.org/en/latest/>).

В качестве платформы системы моделирования СКИА – СТО используется разработанная авторами библиотека дискретно-событийного моделирования

Sim#, реализующая основные принципы библиотеки SimPy, требуемый для системы моделирования СКИА – СТО функционал и обладающая сравнительно с SimPy большим быстродействием.

В основе работы библиотеки Sim# лежит идея микротоков исполнения — активных объектов, описывающих параллельно выполняющиеся процессы. В любой момент реального времени активен только один микрпоток, исполняющий свой моделирующий алгоритм и планирующий события с привязкой к модельному времени. Микрпоток использует как свои, так и чужие структуры данных, порождает и завершает другие микротоки, планирует события. Продвижение модельного времени до следующего запланированного события происходит, когда все микротоки исполнили свои моделирующие алгоритмы или перешли в состояние ожидания. Взаимодействие и вызов микротоков обеспечивает диспетчер библиотеки Sim#.

Модель исполнения программ контроля СТО комплексом СКИА

На рис. 3 приведена агрегативная модель исполнения программ контроля СТО комплексом СКИА, отражающая процессы информационного обмена. Изображенная на рис. 3 модель состоит из агрегатов, моделирующих диспетчер СКИА и системный интерфейс СКИА, а также из сгруппированных по модулям типовых агрегатов, моделирующих:

- операции СКИА (составные единицы программы контроля СТО);
- исполнительные устройства СКИА.

В соответствии с рис. 3 в модели исполнения программ контроля выделено три цикла информационного обмена.

Назначение первого цикла информационного обмена состоит в организации вызова диспетчером СКИА очередной операции по результатам исполнения предыдущей. Диспетчер СКИА — центральный агрегат, обеспечивающий вызов и согласование работы операций СКИА в соответствии с загружаемой в него программой контроля путем обмена телеграммами (сообщениями) установленного формата. На менеджер модулей и менеджеры операций возлагается функция системной шины СКИА — осуществ-

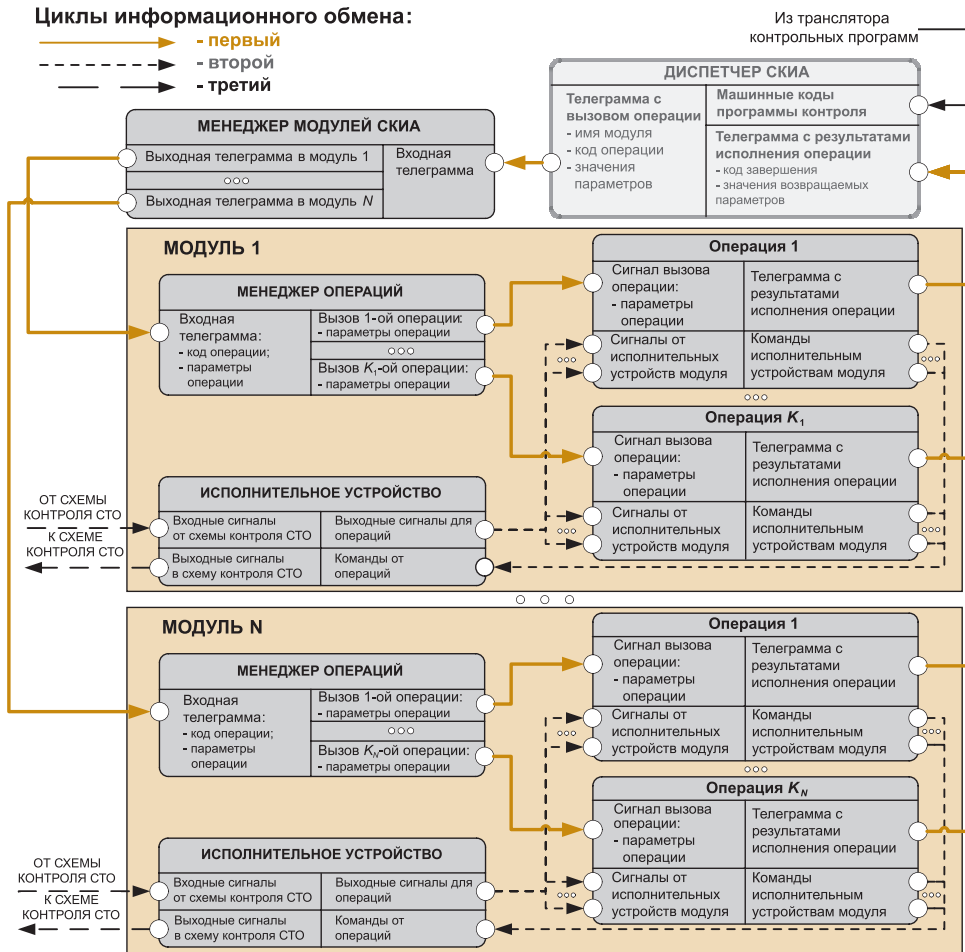


Рис. 3. Агрегативная модель исполнения программ контроля

влять передачу телеграммы вызова соответствующей операции.

При вызове очередной операции задействуется второй информационный цикл, предназначенный для организации и синхронизации управления исполнительными устройствами со стороны нескольких одновременно исполняющихся операций.

В третьем цикле информационного обмена осуществляется выдача управляющего воздействия на схему контроля СТО со стороны исполнительных устройств SKIA, измерение отклика на выданное воздействие и оценка состояния СТО.

Представленная модель исполнения позволяет осуществлять контроль:

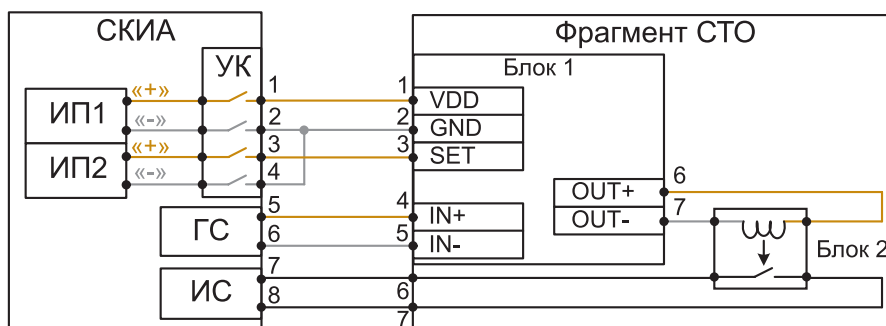


Рис. 4. Фрагмент системы SKIA – СТО

- корректности входных/выходных параметров, передаваемых в телеграммах;
- допустимости одновременного исполнения нескольких операций;
- порядка вызова операций в случае их взаимозависимости и др.

Это, в конечном счете, позволяет выявлять ошибки в программах контроля.

Агрегативная модель аппаратной части системы SKIA – СТО

На рис. 4 представлена схема фрагмента системы SKIA – СТО. Основным функциональным узлом в приведенной схеме является блок 1, предназначенный для выдачи исполнительной команды при подаче на вход сигнала заданной формы. Блок 1 имеет вход питания (1-2), основной вход (4-5), выход (6-7) и дискретный вход (3-2). Выход блока 1 управляет блоком 2. На выходе появляется напряжение, когда на вход (4-5)

подается сигнал заданной формы или на дискретный вход подается потенциальная команда. Подача сигнала заданной формы осуществляется генератором сигналов (ГС) SKIA, питание блока 1 и подача потенциальной команды осуществляется источниками питания (ИП1 и ИП2 соответственно) через универсальный коммутатор (УК). Оценка состояния контакта блока 2 осуществляется измерителем сопротивления (ИС) (цепь 6-7 СТО).

Агрегативная модель описанного фрагмента схемы представлена на рис. 5. Каждый из представленных на рис. 5 агрегатов реализуется с помощью разработанной авторами универсальной агрегативной модели (УАМ). Использование УАМ в качестве «шаблона»

для реализации имитационных моделей составных частей системы SKIA – СТО позволяет создать единую библиотеку моделей, а также упростить ее сопровождение (дополнение и изменение).

Степень детализации имитационных моделей определяется их назначением, зависит от обрабатываемых программ контроля и СТО, в состав которого они входят.

Только тот, кто ничего не смыслит в машинах, попытается ехать без бензина; только тот, кто ничего не смыслит в разуме, попытается размышлять без твердой, неоспоримой основы.

Ч. Гилберт



Рис.5. Агрегативная модель фрагмента системы SKIA – СТО

Графическое изображение УАМ блока 1 приводится на рис. 6. Представленная УАМ содержит:

- множества входных/выходных полюсов;
- множество наблюдающих агрегатов (наблюдателей);
- центральный агрегат;
- множество агрегатов, наблюдающих за модельным временем (таймеров).

Через входные/выходные полюса происходит информационный обмен с внешними агрегатами. Входным/выходным полюсам соответствуют сигналы в СТО.

Наблюдатели контролируют значения сигналов на входных полюсах и выдают прерывание центральному агрегату с указанием причины при наступлении в системе соответствующих событий (изменение значения сигнала и т. д.).

Центральный агрегат определяет логику функционирования и содержит множества:

- состояний Q ;
- входных/выходных X/Y полюсов (особый полюс — «прерывание»);
- переходов $(Q_j, Y_k) \rightarrow (Q_m, Y_n)$.
- внутренних параметров α .

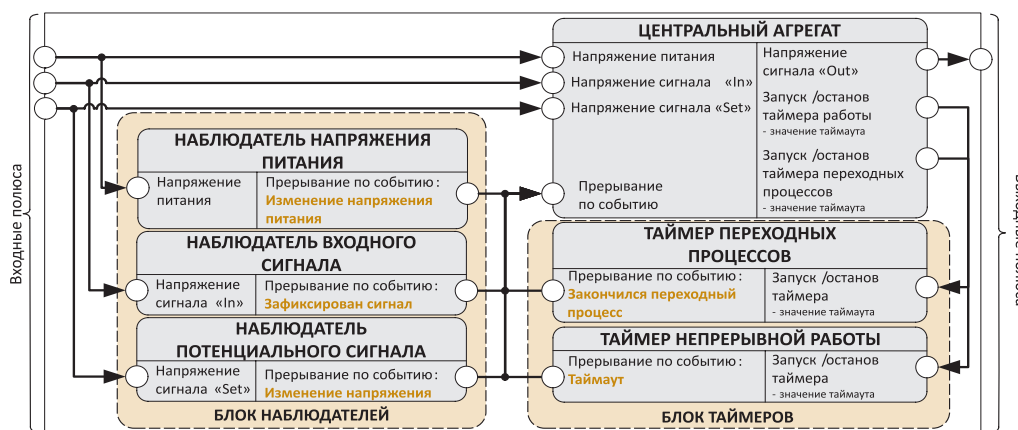


Рис. 6. Графическое представление УАМ блока 1

Таймеры запускаются и останавливаются по сигналу от центрального агрегата. Запускающий сигнал таймера имеет параметр «значение тайм-аута», означающее промежуток модельного времени до наступления внутреннего события.

Сигнал «прерывания» определяет момент перехода центрального агрегата из одного состояния в другое и изменение значений сигналов на выходных полюсах.

Элементы множества внутренних параметров характеризуют моделирующий алгоритм центрального агрегата (значения времени срабатывания, пороговые напряжения, кодовые значения, признаки ветвления алгоритма и др.). Именно путем варьирования значений параметров моделируются неисправности СТО.

Отладка и исследование диагностических свойств программ контроля СТО

Отладка программы контроля СТО проводится с помощью системы моделирования SKIA – СТО TSDK в пошаговом режиме. Для управления и визуализации отладки используется изображенный на рис. 7 графический интерфейс пользователя. Исходными данными для отладки в системе моделирования являются:

- файлы трансляции программы контроля;
- DLL-библиотека, содержащая программную реализацию имитационной модели исправного СТО.

Процессы трансляции программы контроля и программной реализации имитационной модели являются относительно сложными и в настоящей работе не освещаются.

Работы по исследованию диагностических свойств программ контроля СТО разбиваются на два этапа:

- на первом этапе проводится имитация заданного перечня неисправностей СТО на имитационной моде-

ли, и подтверждаются диагностические свойства программы контроля с помощью системы моделирования до изготовления опытных образцов СТО;

- на втором этапе проводятся испытания предварительно отработанной программы контроля на реальной системе SKIA – СТО и выборочная имитация неисправностей.

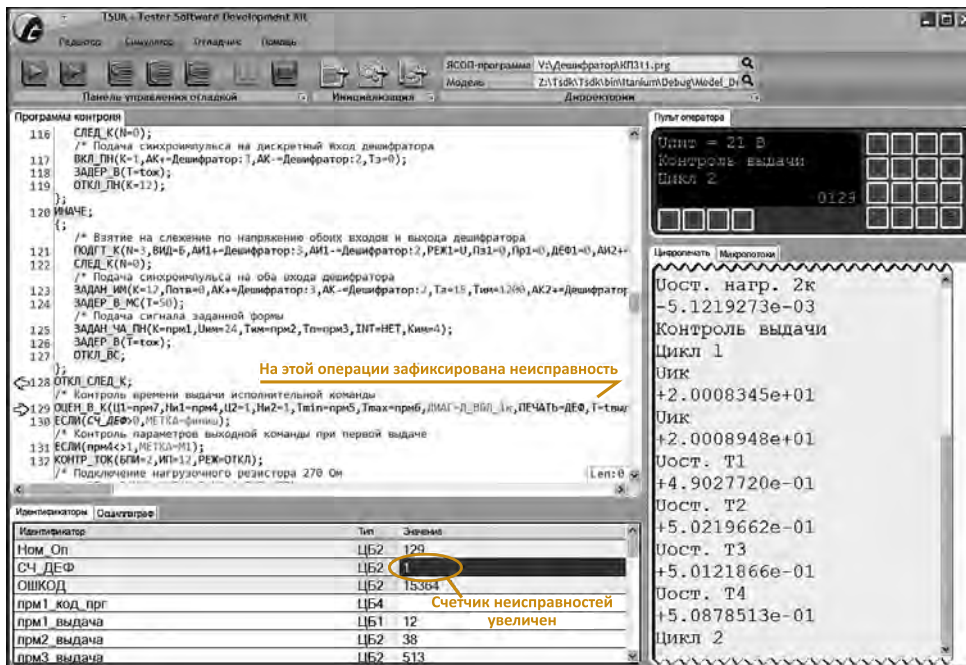


Рис. 7. Интерфейс системы моделирования SKIA – СТО

Одной из возможных неисправностей блока 1, приведенного на рис. 4, является отсутствие исполнительной команды при подаче на вход сигнала требуемой формы. SKIA должна зарегистрировать неисправность на определенной операции программы контроля СТО. Указанная неисправность моделируется путем запрета перехода $(Q_{process}, Y_0) \rightarrow (Q_{out}, Y_{out})$ центрального агрегата УАМ (рис. 6) в программном коде имитационной модели. Исследование диагностических свойств проводится в режиме «запуск до дефекта», в котором при регистрации неисправности происходит останов программы контроля на соответствующей операции. На рис. 7 отображено состояние графического интерфейса пользователя при регистрации рассматриваемой неисправности. По результатам моделирования программы контроля в окне «цифропечать» появляется сообщение, поясняющее суть зарегистрированного дефекта. На рис. 8 представлен результат моделирования программы контроля СТО.

В приведенном примере SKIA зарегистрировала смоделированную неисправность, что подтверждает диагностическое свойство программы контроля применительно к указанной неисправности.

По результатам моделирования всех заданных неисправностей делается заключение о диагностиче-

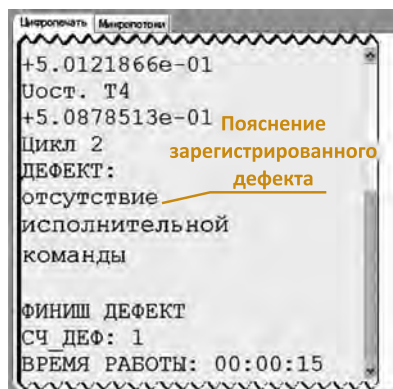


Рис. 8. Результаты моделирования программы контроля СТО

ских свойствах программы контроля СТО. В случае положительного заключения осуществляется переход к этапу аттестации программы контроля в соответствии с рис. 1.

Заключение

Созданные инструменты моделирования обеспечивают:

- выявление, локализацию и исправление ошибок программ контроля без использования материальной части;

- подтверждение диагностических свойств программ контроля путем имитации неисправностей СТО.

Внедрение авторами предложенного способа

отладки и исследования диагностических свойств программ контроля позволяет:

- уменьшить влияние на процесс разработки человеческого фактора;
- значительно снизить временные и материальные затраты (на практике срок разработки программ контроля уменьшается более чем в два раза);
- повысить качество и надежность разрабатываемых программ контроля и выпускаемых СТО в целом.

Список литературы

1. Лунаев В.В. Программная инженерия. Методологические основы. М.: ТЕИС. 2006. с. 608.
2. O. Maryoly, M. Perez, T. Rojas. Construction of a Systemic Quality Model for Evaluating a Software Product // Kluwer Academic Publishers. Software Quality Journal, №11. 2003. р. 219-242.
3. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М., Изд-во «Советское радио». 1973. с. 440.
4. Шетинин Д. В. Библиотека имитационного моделирования систем с дискретными событиями C++SIM // Первая всероссийская науч.-практич. конф. Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках «ИММОД-2003» (Санкт-Петербург, 2003 г.): сб. докл. Т.1. с. 200-204.

Сидоров Александр Викторович – заместитель главного конструктора,

Третьяков Василий Васильевич – инженер,

Баранов Дмитрий Николаевич – инженер ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова.

Контактный телефон (985) 413-63-76.

E-mail: asidoro@mail.ru, d.baranov88@gmail.com, objekt13@mail.ru