

СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПРОЛ для РАЗРАБОТКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**П.Н. Надточий (ОмГУ, ООО "Автоматика-Э"), М.И.Федосеев (ООО "Автоматика-Э"),
Л.А. Денисова (ОмГУ, ООО "Автоматика-Э")**

Представлена интегрированная среда для проектирования прикладного программного обеспечения контроллеров САПР ТЕПРОЛ, которая содержит средства для создания, редактирования, компиляции алгоритмических схем. Возможности САПР ТЕПРОЛ по реализации технологических алгоритмов позволяют в короткие сроки создавать надежное программное обеспечение для контроллеров с использованием как стандартных программно-алгоритмических модулей, так и нетиповых пользовательских алгоритмических блоков.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование программного обеспечения, система автоматизированного управления, программно-алгоритмические модули, контроллеры.

Введение

Сложность производственных процессов на современных объектах автоматизации, широкое применение микропроцессорных АСУТП сделали актуальной разработку и внедрение новых средств создания систем управления. Такие средства должны обеспечивать возможность на этапе проектирования АСУТП тестировать, корректировать и оптимизировать алгоритмы управления, что позволяет значительно упростить настройку контроллеров создаваемых систем на реальном оборудовании.

Средства проектирования программного обеспечения контроллеров

Производитель АСУТП — ООО «Автоматика-Э» (г. Омск) — осуществляет проектирование функциональной части и прикладного программного обеспечения систем управления с помощью собственного инструментального комплекса — системы автоматизированного проектирования (САПР). Основным элементом инструментального комплекса является технологический язык программирования микропроцессорных контроллеров ТЕПРОЛ (от англ. Technological PROgramming Language). Технологический язык проблемно-ориентирован, служит для задания исходной информации о компонентах системы управления: задачах обработки информации, регулирования, логического управления и т. д.

В настоящее время отечественными и зарубежными производителями средств и систем автоматизации предлагаются собственные SCADA-системы для разработки программного обеспечения программируемых контроллеров. SCADA-системы обладают существенными возможностями по разработке и визуализации алгоритмов для программируемых контроллеров. В тоже время общей чертой данных САПР является привязка к программируемым контроллерам конкретного производителя. С одной стороны, это обеспечивает удобство сквозного применения SCADA-системы, так как можно не только разработать алгоритм, выполняемый контроллером нижнего уровня, но и связать его с человеко-машинным интерфейсом отображения и управления технологическими процессами. Но, с другой стороны, это накладывает ограничения на использования данной SCADA-системы, фактически замыкая ее применение на оборудование одного производителя.

Среди средств визуального проектирования алгоритмов, которые не привязаны к определенному оборудованию, известна российская разработка ДРАКОН («Дружелюбный русский алгоритмический язык, который обеспечивает наглядность») (<https://drakon.su>). Данный алгоритмический язык, в частности, активно применялся в разработке алгоритмов в космической отрасли [1]. К настоящему времени этот язык по сути превратился в семейство языков и продолжает активно развиваться.

С точки зрения визуализации алгоритмов аналогом ТЕПРОЛ можно считать: средства Simatic Step 7, которые наиболее близко соответствуют средствам ТЕПРОЛ по возможности проектирования ПО в виде визуализированных алгоритмов. С точки зрения абстрагирования генерируемого алгоритма от детализации программируемого контроллера ТЕПРОЛ ближе к языку ДРАКОН. Но, в отличие от языка ДРАКОН, средства ТЕПРОЛ генерируют исходный код только на языке С. Данное ограничение не является существенным для разработки ПО нижнего уровня, поскольку язык С предоставляет большие возможности по функциональности и производительности при написании программ для контроллеров.

Механизм генерации кода, не содержащий деталей привязки к оборудованию, позволяет отделить алгоритм, закладываемый в программируемый контроллер от технической детализации привязки сигналов, используемых в алгоритме, а также входных/выходных сигналов с интерфейсных модулей ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов. Программное обеспечение привязки разрабатывается индивидуально под конкретное оборудование.

Назначение САПР ТЕПРОЛ

Средства САПР ТЕПРОЛ представляют собой интегрированную среду для разработки прикладного ПО контроллеров и обеспечивают возможности создания, редактирования, компиляции, компоновки и отладки программ [2–4]. Функциональные схемы компонентов АСУТП описываются как структуры взаимосвязанных вычислительных блоков. Для построения таких структур предусматривается набор стандартных процедур и функций, представленных библиотекой программно-алгоритмических модулей, охватывающей практически все элементарные задачи,

решаемые в пределах АСУП, что освобождает пользователя от значительной части работ по составлению вычислительных алгоритмов.

Модулям библиотеки алгоритмов соответствуют функции на языке программирования С, реализующие алгоритмы, входящие в библиотеку программных модулей языка ТЕПРОЛ. По графическому описанию структурной схемы производится сборка управляющей программы, причем каждому функциональному блоку по имени, указанному в его верхнем поле, ставится в соответствие программный модуль.

Параметры настройки каждого модуля либо располагаются в энергонезависимой памяти и могут корректироваться оператором, либо автоматически подстраиваются в реальном масштабе времени, поступая как внешние сигналы от соответствующих блоков.

Средства ТЕПРОЛ позволяют вводить новые программно-алгоритмические модули в существующий библиотечный набор, в том числе базирующиеся на математическом аппарате современных интеллектуальных технологий, реализуя инновационные решения при проектировании автоматизированных систем.

Описание функций САПР ТЕПРОЛ

Средства САПР ТЕПРОЛ реализованы в виде Windows-приложения, и работа с ним ничем не отличается от работы с другими приложениями, поддерживающими стандарты пользовательского графического интерфейса Windows. Главное окно САПР ТЕПРОЛ представлено на рис. 1.

САПР ТЕПРОЛ предоставляет следующие возможности:

- разработка, редактирование и хранение технологических алгоритмов в графическом представлении в виде функциональных схем с использованием библиотеки алгоритмических модулей;

- редактирование библиотеки алгоритмических модулей с возможностью пополнения библиотеки новыми модулями, изменения параметров и их типов, графических изображений;

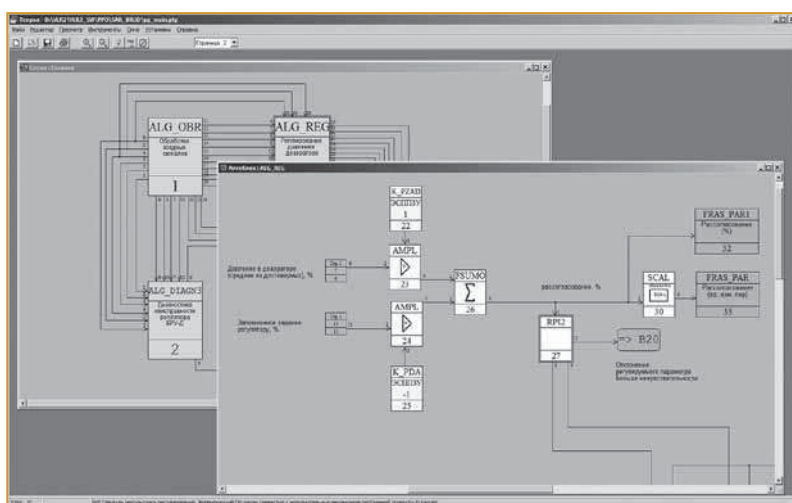


Рис. 1. Главное окно САПР ТЕПРОЛ с фрагментом функциональной схемы системы регулирования

- трансляция функциональных схем с получением результирующей программы на языке С (с развернутой диагностикой ошибок).

Язык технологического программирования ТЕПРОЛ является языком высокого уровня, позволяющим разработчику создавать и модифицировать алгоритмы управления технологическими процессами. Алгоритм записывается в виде функциональной схемы в графическом виде с использованием ряда стандартных объектов. В качестве объектов используются:

- модуль — алгоритмический модуль, каталогизированный в библиотеку стандартных функций разрабатываемых средств автоматизации. Модуль ассоциируется с программным кодом, вычисляющим некоторую функцию или реализующим разностную схему (для динамических модулей);

- сигнал — величина переменного значения, подаваемая на вход алгоритмического модуля или формируемая алгоритмическим модулем и размещаемая в памяти процессорного модуля;

- константа — величина постоянного значения, подаваемая на вход алгоритмического модуля;

- связь — соединительная ломаная линия, указывающая на связь между выходом одного из объектов и входом другого объекта. На этапе выполнения связь реализуется передачей значений сигналов/параметров/констант от одного модуля к другому;

- межстраничный соединитель — указатель на продолжение связи с одной страницы функциональной схемы на другую;

- алгоритмический блок — часть схемы, предназначенная для повторного использования, агрегирующая модули и связи между ними.

Все объекты (кроме связей) представляются в виде прямоугольников, на которых представлено название объекта, пояснения или графическое изображение объекта и порядковый номер объекта на схеме. Объекты на схеме можно копировать, удалять и перемещать в процессе графического построения требуемого алгоритма.

Для сигналов и констант в языке ТЕПРОЛ предусмотрены типы данных, характеристики которых представлены в таблице.

Функциональное назначение графического объекта отражает его цвет: зеленый цвет соответствует входному сигналу, синий — выходному сигналу, желтый — константе, белый — модулю или алгоритмическому блоку, а серый — межстраничному соединителю.

Для обозначения передачи значений переменных и констант между объектами на схеме используется объект «связь», соединяющий различные объекты. Направление передачи параметра (от выхода к входу) обозначается стрелкой на конце линии. Для связи с объектом, расположенным на другой странице алгоритма, используется межстраничный соединитель.

Таблица. Типы данных ТЕПРОЛ

Название	Длина в байтах	Диапазон значений
Вещественный	4	(3.4E-38)...(3.4E+38)
Целочисленный	2	-32767 ... 32768
Длинный целочисленный	4	-2 147 483 648 ... 2 147 483 648
Логический	1	0 ... 1
Байтовый	1	0 ... 255
Текст	256	

Алгоритмический модуль (или алгоблок) характеризуется некоторым набором параметров, каждый из которых принадлежит к определенному типу данных, используемых в ТЕПРОЛ. Кроме этого, параметры модулей подразделяются на входные, выходные и параметры настройки. Разделение параметров на входные и параметры настройки условно и служит только для информирования пользователя о стандартном назначении данного параметра.

Выходные параметры формируются алгоритмическим модулем и могут быть заведены (с помощью объектов «связь») на входы других модулей или служить в качестве выходных сигналов функциональной схемы. Отметим, что поле выходного параметра в модуле или алгоблоке может также остаться не заполненным. Настроечные параметры должны быть обязательно инициализированы, в противном случае это будет считаться неопределенностью и вызовет предупреждение при трансляции функциональной схемы.

Технология реализации алгоритмов средствами ТЕПРОЛ

Для реализации технологических алгоритмов в ТЕПРОЛ встроена библиотека алгоритмических модулей, содержащая более 100 наименований. Библиотечные модули реализуют как простейшие функции (умножение, деление и др.), так и сложные

алгоритмы (например, модули обработки входных сигналов, различные виды регуляторов). Также имеется возможность расширять набор алгоритмических модулей, доступных для использования при создании функциональных схем.

Результатом трансляции функциональной схемы является программа на языке С, которая может циклически выполняться в контроллере. При построении функциональной схемы следует иметь в виду, что должна существовать такая последовательность выполнения алгоритмических модулей, входящих в эту функциональную схему, при которой все входные параметры каждой из функций определены перед ее вызовом. Объекты «связь» могут быть инициализированы с целью ликвидации неопределенности с определением последовательности выполнения модулей при наличии циклов по передаче параметров в функциональной схеме (что вызовет сообщение об ошибке при трансляции).

Красный цвет алгоритмического модуля на схеме означает, что у данного модуля есть незаполненные поля входных и настроечных параметров. Все входные и настроечные параметры алгоритмического модуля должны быть инициализированы входными сигналами, константами или связями.

Средства САПР ТЕПРОЛ также предусматривают возможность создания пользовательских алгоритмических блоков. Такие алгоблоки агрегируют определенный алгоритм и представляются в виде части технологической схемы. Главным отличием алгоблока от модуля ТЕПРОЛ, является то, что алгоритмическая схема внутри алгоблока может быть изменена средствами ТЕПРОЛ, в то время как для изменения алгоритма, реализуемого алгоритмическим модулем, необходимо переписывать соответствующую функцию на языке С.

Удобство применения алгоблоков заключается в возможности повторного использования повторяющихся частей алгоритма в общей схеме системы без необходимости повторного рисования схемы. Еще одним преимуществом использования алгоблоков является наглядность представления алгоритма функционирования: появляется возможность разбить большую и сложную алгоритмическую схему на несколько алгоблоков, каждый из которых выполняет определенную функцию (например, выполняет регулирование или анализ достоверности входных сигналов и т.д.).

Такие алгоблоки можно компактно расположить на одной странице технологической схемы, из которой будет понятен общий алгоритм системы. Кроме того, допускается использовать одни алгоблоки внутри других, что также является удобным для пользователя.

Для примера на рис. 2 представлена схема системы автоматического регу-

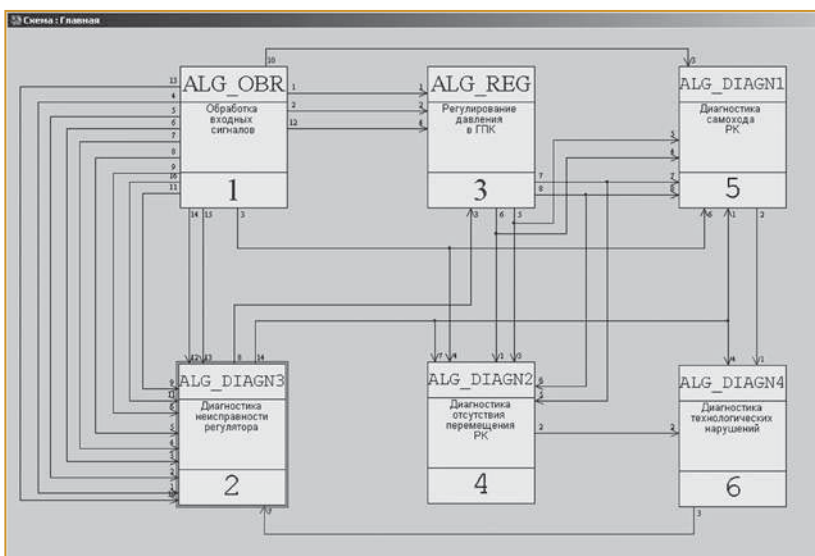
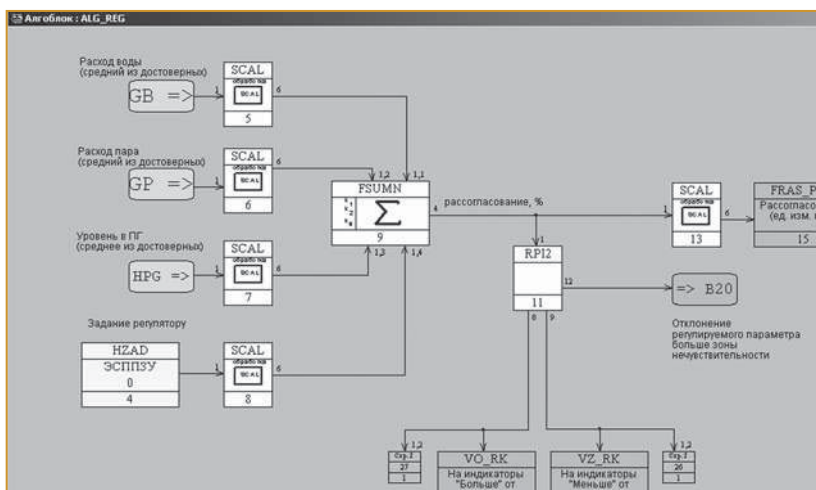
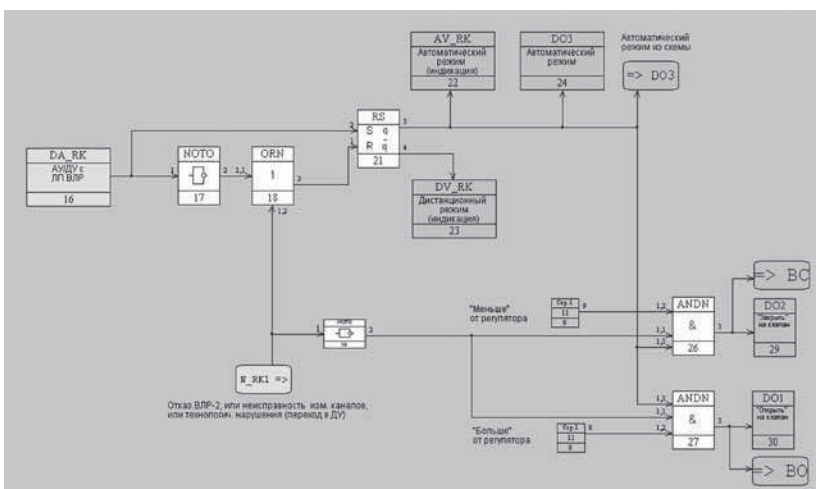


Рис. 2. Схема системы автоматического регулирования, реализованная на алгоблоках языка ТЕПРОЛ



а)



б)

Рис. 3. Схема алглобка ALG_REG: а) - страница 1, б) - страница 2

лирования, на которой показаны следующие алглобки: ALG_OBR (алглобок предназначен для обработки входных сигналов), ALG_REG (алглобок выполняет собственно регулирование), а также ALG_DIAGN1 — ALG_DIAGN4 (алглобки осуществляют диагностику технологических неисправностей в системе и самодиагностику регулятора).

На рис. 3 представлена схема реализации алгоритма регулирования уровня в парогенераторе (ALG_REG). Схема размещена на двух страницах. На рис. 3 а приведена страница 1 — схема алглобка ALG_REG в ТЕПРОЛ, реализующая алгоритм формирования сигнала рассогласования FRAS_PAR, который подается на модуль регулирования RPI2. Данный модуль формирует сигналы «Больше» («Меньше») от регулятора», которые через межстраничные соединители передаются на вторую страницу алглобка ALG_REG (рис. 3 б).

На второй странице алглобка ALG_REG реализуется переключение текущего режима работы контура регулирования (автоматический или дистанционный). При автоматическом режиме работы (и при отсутствии сигналов о неисправностях измерительных каналов и технологических нарушениях) сигналами от модуля RPI2, сформированные на странице 1, передаются на дискретные выходы DO1 («Открыть регулирующийся клапан») и DO2 («Закрыть регулирующийся клапан»), предназначенные для передачи управляющих воздействий на исполнительный механизм регулирующего клапана.

Средства САПР ТЕПРОЛ предоставляют возможность генерации исходного кода на языке С, реализующего алгоритм, содержащийся в технологической схеме. Каждому алгоритмическому модулю, входящему в состав библиотеки алгоритмических модулей, соответствует уже готовая реализация функции модуля на языке С.

После трансляции функциональной схемы в программу на языке С производится построение загрузочного модуля средствами любой программной оболочки. После вызова модуля инициализируются его выходные сигналы, которые могут быть связаны с другими элементами технологической схемы

В результате сгенерированный загрузочный модуль содержит последовательность вызовов алгоритмических модулей, которая реализует алгоритм, заложенный в технологической схеме. Этот загрузочный модуль вызывается циклически и реализует алгоритмы управления технологическими процессами.

Обсуждение возможностей и опыт применения САПР ТЕПРОЛ

Обсуждение возможностей и опыт применения САПР ТЕПРОЛ

Средства САПР ТЕПРОЛ предоставляют возможность реализации различных задач обработки информации, контроля и управления, выполняемых контроллерами. Отметим простоту разработки и включения в ТЕПРОЛ новых алгоритмических модулей при решении конкретной задачи. Для создания нового модуля необходимо по определенному шаблону создать библиотечный файл (простого текстового формата), описывающий набор параметров алгоритмического модуля, и запустить реализацию алгоритма модуля на языке С. После чего новый модуль становится доступным для использования при разработке алгоритмических схем. При этом не накладывается никаких ограничений на размер исходного кода модуля, что позволяет агрегировать алгоритмы практически любой сложности в один модуль. Данное свойство совместно с возможностью помещать фрагменты алгоритмической схемы в алгоритмический блок для повторного использования существенно отличает ТЕПРОЛ от языка ДРАКОН. Некоторые авторы (например, [5]), указывая на недостатки языка ДРАКОН,

отмечают, что обозримыми и понятными являются только созданные с его применением блок-схемы для небольших алгоритмов. При необходимости достаточно большой степени детализации блок-схемы становятся громоздкими и теряют свое основное достоинство — наглядность структуры алгоритма. Возможности ТЕПРОЛ позволяют выполнить декомпозицию сложной алгоритмической схемы, разбив ее на модули и алгоблоки (например, как показано на рис. 2 и 3). Схемы алгоритмов, построенные с использованием нескольких уровней абстракции, остаются достаточно простыми на каждом уровне. При этом все необходимые детали алгоритма раскрываются на своем определенном уровне. Например, на рис. 2 представляется общая схема алгоритма (где показаны алгоритмические блоки и их взаимосвязь по параметрам), а на рис. 3 детализируется алгоритм регулирования технологического параметра (уровня в парогенераторе энергоблока).

В силу возможности простого добавления новых программно-алгоритмических модулей в ТЕПРОЛ предприятием ООО «Автоматика-Э» разработана обширная библиотека модулей, моделирующих работу технологических систем и отдельных единиц оборудования. В составе библиотечных модулей, предназначенных для моделирования технологических объектов, присутствуют как простые модели (модели резервуара с жидкостью, запорной арматуры, регулирующего клапана и т. д.), так и более сложные (например, модель тележки для машины перегрузочной, используемой в компаниях перегрузки ядерного топлива). Такие модули имеют как простые версии описания объекта управления (качественно отражающие физическое поведение объекта), так и более детальные (например, учитывающие изменения нескольких компонентов уравнения материального баланса). Обычно для проектирования и тестирования алгоритмов контроля и управления АСУТП средствами ТЕПРОЛ разрабатываются схемы алгоритмов (реализованных в контроллере), и модели объекта управления. При этом требуемая детализация модели объекта должна позволить на достаточном количественном уровне моделировать протекающие физические процессы. Полученные схемы предназначены для загрузки в интерпретатор схем ТЕПРОЛ. Здесь схемы алгоритмов программируемых контроллеров и модели связываются по сигналам и могут быть совместно отлажены в замкнутом контуре. Это означает, что сигналы управления из схемы алгоритмов контроллера, поступающие в схему модели объекта, вызывают в ней изменения физических параметров, которые

в свою очередь будут поступать на вход управляющей схемы контроллера в качестве входных сигналов.

Применение средств ТЕПРОЛ позволяет существенно ускорить разработку ПО, а также существенно уменьшить число ошибок проектирования алгоритмов за счет переиспользования верифицированных программных модулей и алгоритмических блоков. Отметим, что разработанное ПО нижнего уровня в виде программно-алгоритмической схемы поставляется заказчику совместно со средствами САПР ТЕПРОЛ. Таким образом, заказчик при необходимости может самостоятельно осуществлять модификацию ПО, вносить изменения в технологические алгоритмы и добавлять собственные модули и алгоблоки в библиотеку программно-алгоритмических модулей ТЕПРОЛ.

С использованием средств САПР ТЕПРОЛ при разработке ПО нижнего уровня ООО «Автоматика-Э» реализованы такие проекты, как АСУТП сжиганием твердых радиоактивных отходов (РАО) на энергоблоке Калининской АЭС (2002–2008 гг.); ПТК и ПО систем управления машинами перегрузочными (ПТК СУМП) на энергоблоках Калининской АЭС, Балаковской АЭС и АЭС «Куданкулам» (Индия) (2004–2011 гг.), а также ПТК на базе ВЛР на энергоблоках и общестанционных системах Кольской АЭС (2009–2017 гг.) и др.

Список литературы

1. *Паронджанов В.Д.* Визуальный алгоритмический язык ДРАКОН в ракетной технике и медицине // Современные автоматизированные системы управления реального времени как прикладное развитие научных достижений кибернетики. — М.: ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны РФ, 2016.
2. *Раскин Е.М., Денисова Л.А., Федосеев М.И.* Инструментальный комплекс проектирования систем управления ЯЭУ на базе средств СПА-ПС // Математические модели для исследования и обоснования характеристик оборудования и ЯЭУ в целом при их создании и эксплуатации. Доклады семинара НТС Минатома России «Динамика, теплогидравлика и безопасность реакторов и АЭС». Гатчина: НИТИ. 2000.
3. *Денисова Л.А., Раскин Е.М., Федосеев М.И.* Инструментальный комплекс проектирования систем управления на базе средств СПА-ПС // Микропроцессорные системы автоматизации: Тр. III междунар. науч.-техн. конф. Новосибирск: НГТУ. 1996. С.24–25.
4. *Денисова Л.А., Надточий П.Н., Раскин Е.М.* Реализация системы регулирования с нечеткой компенсацией статической ошибки в среде автоматизированного проектирования Terpol // Автоматизация в промышленности. 2012. № 8. С. 33–38.
5. *Дробушевич Л.Ф., Коных В.В.* Анализ топологий визуальных нотаций для записи алгоритмов и программ. Минск: БГУИР. 2011.

Надточий Павел Николаевич — канд. физ.-мат. наук, доц. Омского государственного технического университета (ОмГТУ), зав. сектором разработки программного обеспечения ООО «Автоматика-Э»,

Федосеев Михаил Иванович — директор ООО «Автоматика-Э»,

Денисова Людмила Альбертовна — д-р техн. наук, проф. ОмГТУ, старший научный сотрудник ООО «Автоматика-Э».

Контактные телефоны: (381-2) 22-60-11, 66-74-85.

E-mail: nadtoch77@gmail.com, mikl.fedoseev@avt-e.com, denisova@asoju.com