

В работе предложен алгоритм для получения дискретной модели, эквивалентной непрерывному объекту, по исходным данным вход-выходных переменных. Алгоритм включает в себя следующие шаги: 1) идентификация объекта с помощью критерия, позволяющего восстановить ДПФ, эквивалентную объекту; 2) определение времени запаздывания с помощью полученной ДПФ

объекта; 3) определение интервала ( $\Delta t_{\min}$ ,  $\Delta t_{\max}$ ) для выбора шага дискретизации, позволяющего идентифицировать эквивалентную ДПФ объекта с помощью модифицированного алгоритма В. Висковатова. Разработанный алгоритм можно использовать при автоматизации технологических процессов, обладающих значительным запаздыванием.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рей У. Методы управления технологическими процессами. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
2. Мышляев Л.П., Авдеев В.П., Карташов В.Я., Купчик М.Б. Алгоритмизация управления объектами с запаздыванием. – Кемерово: КемГУ, 1989. – 83 с.
3. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.
4. Кочубиевский И.Д. Системы нагружения для исследования и испытаний машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
5. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления. – М.: Наука, 1985. – 296 с.
6. Карташов В.Я. Эквивалентность дискретных моделей – реальность? // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – № 8. – С. 40–44.
7. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.
8. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами. – М.: Наука, 1986 – 240 с.

Поступила 06.10.2007 г.

УДК 681.51

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

В.С. Лещёв, А.А. Шилин, А.А. Светлаков

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
E-mail: npowest@tomsk.ru

*Рассматривается программный комплекс, предназначенный для реализации на недорогих промышленных контроллерах различных алгоритмов управления, построенных на базе функциональных блоков. Приводится пример программирования на языке функциональных блок-диаграмм алгоритма автоматизации реального технологического процесса.*

#### Введение

В последние годы для создания автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) широкое применение получили различные технологические языки программирования, доступные для понимания не только программистам, но и инженерам-технологам. В результате в настоящее время мы имеем программные пакеты для создания интерфейса человек-машина и программного обеспечения операторских станций АСУ ТП (SCADA) [1]. В связи с тем, что технологические языки легко поддаются унификации, таких программных пакетов разработано превеликое множество, и, более того, под них разрабатываются собственные языки программирования. Для того, чтобы как-то упорядочить этот процесс, в 1993 г. был принят стандарт Международной Электротехнической Комиссии IEC-1131-3 [2]. Стандарт описывает пять языков программирования программируемых логических контроллеров (ПЛК): *Sequential Function Chart (SFC)*, *Function Block Diagram (FBD)*, *Ladder Diagrams (LD)*, *Structured Text (ST)*, *Instruction*

*List (IL)* [3]. Наиболее популярными среди программистов являются языки ST и IL, так как они вобрала в себя наиболее общие операторы языков программирования типа *Pascal* и *Assembler*.

Практика показала, что для инженеров-технологов наиболее понятен язык **функциональных блок-диаграмм (FBD)**. Язык FBD служит для построения и детального описания алгоритмов управления технологическими процессами. Он позволяет пользователю для систем любой сложности построить блок-схему алгоритма управления, состоящую из библиотечных блоков. Программный комплекс «АКИАР», разработанный программистами ООО «НПО ВЭСТ» (г. Томск) в сотрудничестве с кафедрой информационно-измерительной техники Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, позволяет работать именно с этим языком программирования и имеет ряд особенностей, отличающих его от аналогичных программных продуктов. На этих особенностях остановимся чуть позже, а пока обратим внимание на то, что стандарт МЭК IEC-1131 носит

рекомендательный характер, поэтому мы, конечно, старались выдержать соответствие, но всё же создали собственную библиотеку функциональных блоков.

#### Программный комплекс «АКИАР»

Программный комплекс «АКИАР» включает все основные возможности SCADA-систем. Аналогом такой программы является инструментальная система программирования алгоритмов «КОНГРАФ» (ОАО «МЗТА», г. Москва) для регуляторов типа «МС», построенных на дорогих микроконтроллерах. Программный комплекс «АКИАР» предназначен для работы с регуляторами, построенными на недорогих микроконтроллерах. «АКИАР» совмещает графический редактор функциональных блоков и программу моделирования АСУ ТП, которые интуитивно понятны пользователям, имеющим самое общее представление о SCADA-системах. Значительным преимуществом программного комплекса «АКИАР» над системой «КОНГРАФ» является независимая от алгоритма управления система ввода, вывода и индикации параметров промышленного регулятора. Такая система имеет гибкую логику, позволяет обозначать параметры на английском и русском языках, имеет древовидное (структурированное) меню.

Такие мощные программные пакеты SCADA-систем как «Genesis», «Trace Mode», «Genie» являются многофункциональными и предназначены, прежде всего, для крупных АСУ ТП. Для своей реализации такие системы требуют мощные и дорогостоящие промышленные контроллеры, а также значительных временных затрат для моделирования переходных процессов. В области теплоэнергетики и особенно жилищно-коммунального хозяйства для систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции использование дорогостоящих контроллеров не совсем оправдано. В таких системах на первый план выходит экономическая целесообразность использования АСУ. Поэтому в настоящее время наиболее актуально построение таких АСУ ТП на недорогих контроллерах, отвечающих минимальным требованиям функциональности SCADA-систем. На базе программного комплекса «АКИАР» создан и реализован автоматический регулятор типа «ВЭСТ», который построен на гибкой логике и отвечает требованиям локальности; функциональности, достаточной для рассматриваемых систем и экономичности, актуальность которой уже подчёркивалась.

Программный комплекс «АКИАР» позволяет создавать различные алгоритмы управления технологическими процессами на языке функциональных блок-диаграмм, который понятен, прежде всего, инженерам-технологам. АСУ ТП, построенные на базе «АКИАР» и недорогих контроллеров типа «АКИАР», отвечают всем требованиям современных SCADA-систем и являются экономически эффективными в области энергосбережения.

#### Структура программного комплекса «АКИАР»

Схема программного комплекса «АКИАР», построенного на базе промышленного регулятора типа «ВЭСТ», представлена на рис. 1. Комплекс состоит из графического редактора и программы моделирования.

Графический редактор предназначен для составления инженером-технологом блок-схемы алгоритма управления на базе библиотеки функциональных блоков программы. Библиотека насчитывает несколько десятков функциональных блоков, которые имеют различное функциональное назначение: от простых математических (сложение, вычитание) и логических операций (И, ИЛИ) до ПИД-регулирования (пропорционально-интегрально-дифференциального регулирования). Пользователь не имеет возможности создавать новые блоки. Разработчики, в зависимости от сложности выстраиваемой системы, могут создать новые элементы для библиотеки.

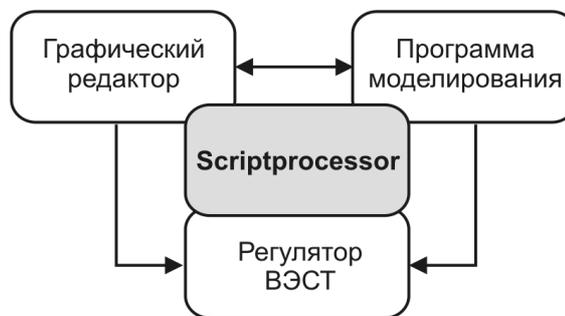


Рис. 1. Схема комплекса «АКИАР»

Программа моделирования позволяет имитировать созданный алгоритм управления. С помощью того же графического редактора пользователь может создать модель объекта управления или имитатор объекта, состоящий из соответствующего набора цифровых входов и аналоговых выходов. Неотъемлемой частью всех SCADA-систем является монитор отображения поведения переменных процесса в виде графиков в режиме реального времени [1]. При моделировании объекта управления пользователь имеет возможность подключать внешние модули, имитировать сложные функциональные узлы такие, как линии задержки, источники шума, гистерезис исполнительных механизмов и др. В результате моделирования и получения визуального представления о поведении объекта управления в виде графиков пользователь может исключить все возможные ошибки ещё на стадии проектирования. Особенно это полезно при построении крупных блок-схем сложных АСУ ТП, где возможно допустить ошибку по элементарной невнимательности. И, наконец, модуль внешней связи с конкретным оборудованием, который реализует возможность экспорта готовой блок-схемы в виде откомпилированного сценария алгоритма управления во FLASH-память микропроцессора промышленного контроллера. Логический интерфейс ис-

пользует стандартный протокол *MODBUS* фирмы *MODICON GOULD* [5], поэтому программный комплекс «АКИАР» можно использовать для отображения, архивирования, осциллографирования и т. п. операций базы данных внешних устройств.

### Язык функциональных блоковых диаграмм

Язык функциональных блоковых диаграмм (FBD) не что иное, как перенос идей языка релейно-контактной логики (LD) на другую элементную базу. Вместо реле используются функциональные блоки, по внешнему виду – микросхемы [3]. Алгоритм работы некоторого устройства, выраженный средствами этого языка, напоминает функциональную схему электронного устройства: элементы типа логическое «И», логическое «ИЛИ» и т. п., соединённые линиями. FBD обладает характерным для языков, переносящих идеи релейной логики преимуществом: легкостью начального изучения. Предоставляют достаточно естественную возможность работы с аналоговыми переменными и минимальные средства структуризации (новые функциональные блоки можно компоновать, используя уже существующие) [4]. Язык FBD значительно выигрывает перед другими технологическими языками в удобстве программирования и структурирования алгоритмов.

Функциональный блок – это программный объект, который выполняет специализированную функцию управления. Выход функционального блока соединяется линией связи (переменной) с входом другого блока. Несколько функциональных блоков, соединённых линиями связи вход/выход, образуют программу на языке FBD. Язык описывает закон преобразования переменных программы. Графическое представление языка FBD в виде блоков (прямоугольников), соединённых линиями связи в блок-схему (программу), делает этот язык программирования удобным для множества прикладных программ, содержащих передачу информации или данных между различными компонентами.

Большинство современных программных пакетов отвечают следующим правилам программирования на FBD:

- 1) функциональные блоки могут располагаться произвольно в поле программы;
- 2) не может быть свободных (несоединённых) входов и выходов функционального блока;
- 3) любая связь может иметь имя и тип;
- 4) входы и выходы функциональных блоков, присоединённые к связям, имеющим одинаковые имена, считаются соединёнными;
- 5) очередность выполнения блоков в программе: слева направо, сверху вниз;
- 6) в случае, если одну и ту же переменную формируют несколько функциональных блоков, последнее значение переменной будет присвоено тем блоком, который выполняется последним.

### Графический редактор «FBD-редактор» и программа «Моделирование»

В настоящее время полная библиотека функциональных блоков программного комплекса «АКИАР» насчитывает 43 элемента (блока). В табл. 1 приведены обозначения и выполняемые функции основных функциональных блоков, которые нашли применение различных алгоритмах управления.

Таблица 1. Библиотека функциональных блоков «АКИАР»

Обозначение	Функция
Ind	Блок задания параметра, отображаемого на индикаторе регулятора (без возможности настройки)
GetPar	Блок задания параметра, отображаемого на индикаторе регулятора (имеется возможность настройки)
SetCnst	Блок задания постоянного значения (вещественное число)
LoWord	Формирование двухбайтового числа (SHORT) на выходе блока из четырёхбайтового числа (LONG) на входе блока
HiWord	Функция, обратная "LoWord"
Integr	Блок интегрирования
Inert	Блок формирования инерционного звена с передаточной функцией $W(p)=1/(1+tp)$
Isodr	Блок формирования изодромного звена с передаточной функцией $W(p)=tp/(1+tp)$
USWod	Блок формирования регулятора
Arch	Блок формирования архива значений переменной
Формирование сигнала на выходе (входе) блока	
SetDo	Цифровой выходной сигнал
SetAo	Аналоговый выходной сигнал
GetDi	Цифровой входной сигнал
GetAi	Аналоговый входной сигнал
Формирование на выходе блока реального значения текущего времени по формуле $Out=In/10$	
Hour	Часы
Mins	Минуты
DayM	День месяца
DayW	День недели
Year	Год
Блоки выполнение математических и логических операций	
Add (A+B)	Сложение
Mul (A×B)	Умножение
Sub (A-B)	Вычитание
Div (A/B)	Деление
More (A>B)	Больше
Equ (A=B)	Равно
Less (A<B)	Меньше
And (A&B)	Конъюнкция / "И"
Or (A B)	Дизъюнкция / "ИЛИ"
Xor (A^B)	Исключающее "ИЛИ"
No (A→Ā)	Инверсия / "НЕ"
SI_AB	Выбор "A" при условии выполнения "U" (TRUE)

В табл. 1 не представлены блоки, выполняющие узкоспециализированные функции, например, для работы с памятью («*FLSH*» – *Flash-память*; «*EEP*» – энергонезависимая память, «*TmMem*» – энергонезависимая память часов) или для выполнения

операций с битовыми переменными на «низком» уровне («*LShift*» -формирование четырёхбайтовых чисел, и обратно «*RShift*»).

### Пример реализации алгоритма управления

Рассмотрим работу графического редактора «FBD-редактор» и программы «Моделирование» на простейшем практическом примере. Попытаемся разработать алгоритм автоматизации системы горячего водоснабжения (ГВС) жилого дома.

На рис. 2 представлена схема автоматизации ГВС. Поток сетевой воды поступает в теплообменник ГВС из подающего трубопровода теплосети. Встречным потоком в теплообменник поступает холодная вода из водопровода. Через стальные пластины теплообменника тепло передаётся от более теплой среды к более холодной, вода нагревается до заданного значения (горячая вода) и поступает потребителям. Обратная вода на выходе из теплообменника возвращается в тепловую сеть. Согласно СНиП 2.04.01-85 [6] температура горячей воды должна быть равна 65 °С. В результате, основной задачей автоматического регулирования ГВС является поддержание заданного значения температуры горячей воды при изменении температуры сетевой воды, подаваемой в теплообменник.

На рис. 3 представлен фрагмент окна графического редактора «FBD-редактор» с блок-схемой алгоритма регулирования температуры ГВС в соответствии с заданным значением. В представленном примере не рассматривается ограничение температуры обратной воды на выходе из теплообменника в соответствии с температурным графиком теплоснабжения.

В данной блок-схеме управляющее воздействие формируется по одному входному параметру (тем-

пература ГВС «Темп.гвс»), и для понимания принципов программирования на FBD нам этого вполне достаточно.

Как видно из блок-схемы (рис. 3), функциональные блоки в поле окна расположены произвольно, нет свободных входов и выходов; для правильной очередности выполнения схема составлена слева направо, сверху вниз.

Графический редактор поддерживает два типа переменных: двоичные переменные (*Boolean*) 1 (*true*) или 0 (*false*); переменные целого типа (*Integer*) в пределах от -32768 до 32767. В представленной схеме имеются следующие переменные. Заданная переменная «Зад.Тгвс» – заданная температура ГВС; входная переменная «Темп.гвс» – измеренная температура ГВС; параметры настройки регулирования: «Вр.демп» – время демпфирования (время интегрирования измеряемых параметров), «Время об» – время объекта (постоянная времени объекта), «Вр.возд» – время воздействия (прямо пропорционально коэффициенту усиления в замкнутой цепи), «Зона неч» – зона нечувствительности, «Гистерезис» – зона гистерезиса.

На рис. 4 представлена вкладка – «Свойства параметра». В данной вкладке задаются название («Значение») параметра, тип параметра, возможность ручного управления, единицы измерения, количество шагов изменения, минимальное, максимальное и заданное значение параметра. Предусмотрена возможность ограничения доступа пользователя к изменению параметра («Уровень доступа») по средствам пароля, сервисного режима или служебной кнопки.

Схема регулирования работает следующим образом (рис. 3). Измеренное значение температуры ГВС вычитается из заданного значения. Получен-

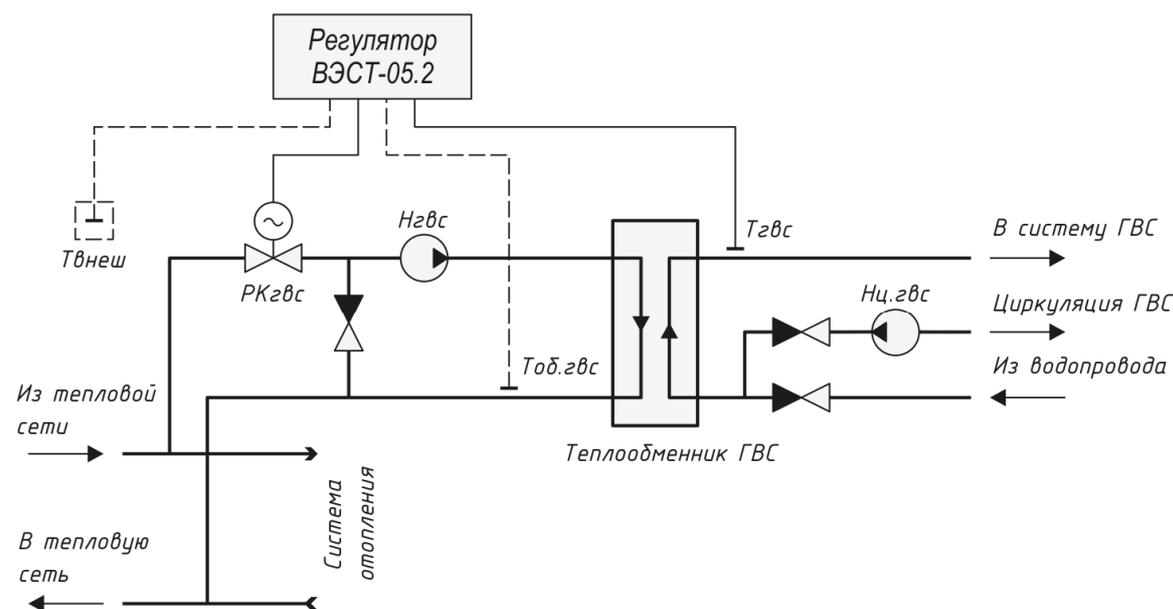


Рис. 2. Схема включения регулирующего комплекса системы ГВС жилого дома

ное на выходе блока вычитания (*Sub*) значение ошибки отображается в окне индикатора (*Ind*), усредняется по времени (*Inert*) и поступает на вход регулятора (*USW0d*). В зависимости от заданных параметров настройки и при превышении зоны нечувствительности и гистерезиса на выходе блока регулятора формируется управляющий сигнал, который сравнивается с константой ноль (*SetCnst*), и, в зависимости от сигнала рассогласования (*Less*), (*More*), подаётся на соответствующий цифровой выход (*SetDo*), т. е. на регулирующий клапан.

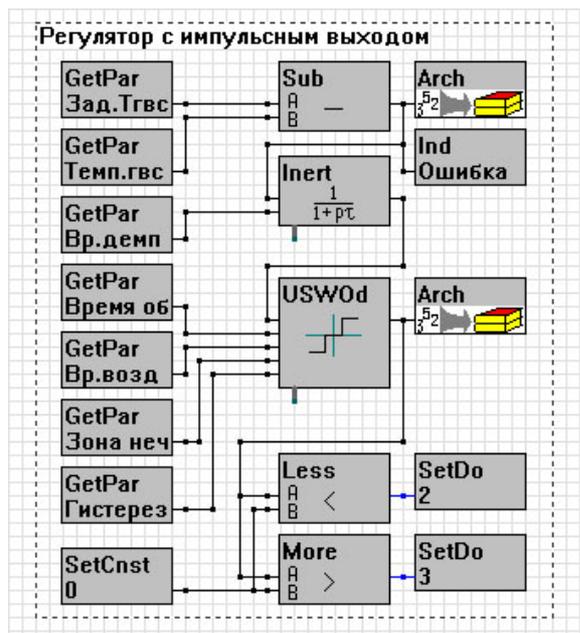


Рис. 3. Блок-схема алгоритма регулирования температуры ГВС

При понижении температуры ГВС регулятор открывает регулирующий клапан, увеличивая расход сетевой воды на теплообменник. При повышении температуры ГВС регулятор закрывает регулирующий клапан, уменьшая расход сетевой воды на теплообменник. Открытие или закрытие клапана

происходит до тех пор, пока температура ГВС не будет приведена в соответствие с заданным значением. Температура устанавливается с точностью в пределах заданной зоны нечувствительности, обычно не более  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

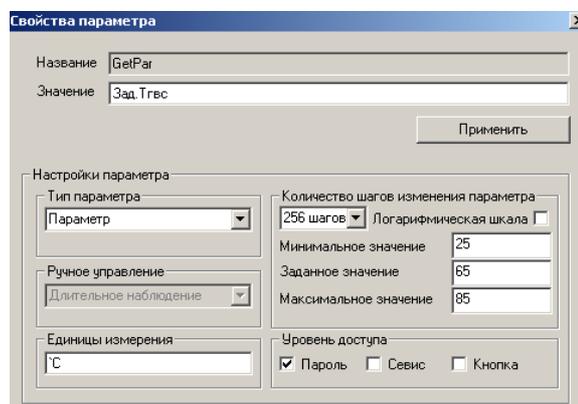


Рис. 4. Вкладка «Свойства параметра»

Для того, что бы проверить работоспособность данной схемы регулирования, создадим модель объекта управления (ОУ), т. е. регулирующий клапан с инерционным звеном (рис. 5). В данной схеме имеются две новые переменные. Это «Вр.хода» – время хода (время перемещения клапана от полностью открытого до полностью закрытого состояния или наоборот) и «Время об.» – время объекта, которое характеризует инерционность объекта управления. Работа схемы достаточно понятна, и с учётом того, что мы уже разобрали выше, нет смысла останавливаться на ней подробно.

После того, как обе блок-схемы составлены, в специализированном окне «Соединения» необходимо прописать связи между регулятором и ОУ (рис. 6). Как видно из рисунка, в данном окне имеются параметры настройки связи (слева направо): тип передающего прибора («Имитатор» или «Внеш.прибор»); номер передающего прибора; номер выхода передающего прибора; тип передавае-

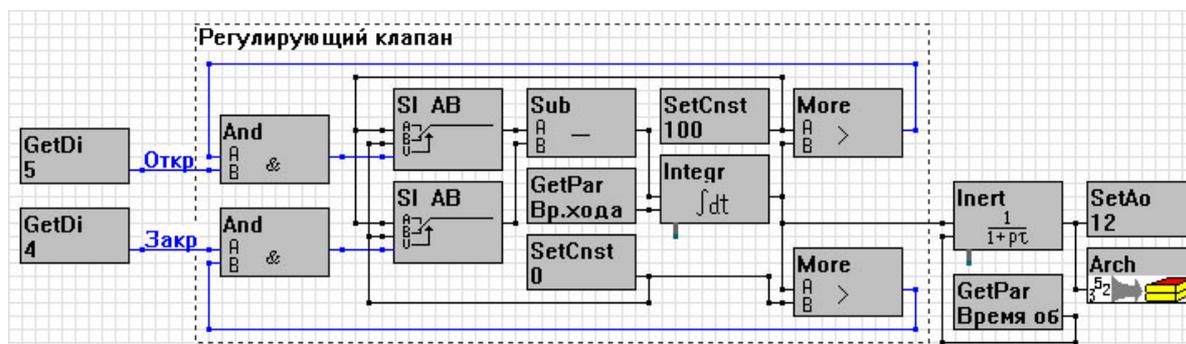


Рис. 5. Блок-схема модели объекта управления

Тип прибора	№ прибор	№ выхода	Тип сигнала	Тип прибора	№ прибор	№ входа	Соединение
Имитатор	0	2	Дискрет.	Имитатор	1	4	0
Имитатор	0	3	Дискрет.	Имитатор	1	5	1
Имитатор	1	12	Аналог.	Имитатор	0	2	2

Рис. 6. Окно «Соединения»

мого сигнала (дискретный или аналоговый); тип принимающего прибора; номер принимающего прибора; номер выхода принимающего прибора; порядковый номер соединения.

Далее необходимо откомпилировать созданную программу и запустить окно прототипа регулятора (рис. 7).

В итоге пользователь имеет возможность, изменяя заданную температуру ГВС и параметры настройки регулятора, наблюдать и обрабатывать переходные процессы в виде графиков, как в виде итогового результата, так и в режиме реального времени.

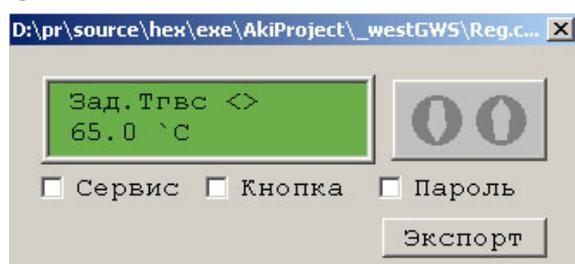


Рис. 7. Окно прототипа регулятора

На рис. 8 представлен итоговый результат моделирования в соответствующей программе «Моделирование». Количество снимаемых данных (кривых) соответствует количеству установленных в

программе блоков архива (*Arch*) на соответствующие точки (рис. 3). В графическом редакторе пользователь имеет возможность по своему усмотрению установить на блок-схеме точки снятия и ведения архивных данных (до 6 параметров).

На данном графике кривая *a* – длительность и знак (больше, меньше) управляющих импульсов на выходе блока регулятора (*USW0d*), кривая *б* – ошибка измерения на выходе блока (*Sub*). В табл. 2 приведены характеристики ОУ и параметры настройки регулятора для данного объекта.

Таблица 2. Характеристики ОУ и параметры настройки регулятора

Характеристики ОУ	Вр.хода = 101,9 с Время об = 147,7 с
Параметры настройки регулятора	Вр.демп = 10 с Время об = 198,9 с Вр.возд = 65,9 с Зона неч = 0,9 °C Гистерез = 0,2 °C

Как видно из графика на рис. 8, при возмущающем воздействии, например, при изменении температуры ГВС на 10 °C переходный процесс достигает устойчивости. Изменяя такие параметры настройки регулятора как «Время об» и «Вр.возд», пользователь имеет возможность экспериментировать и достигать наиболее оптимальных результатов настройки.

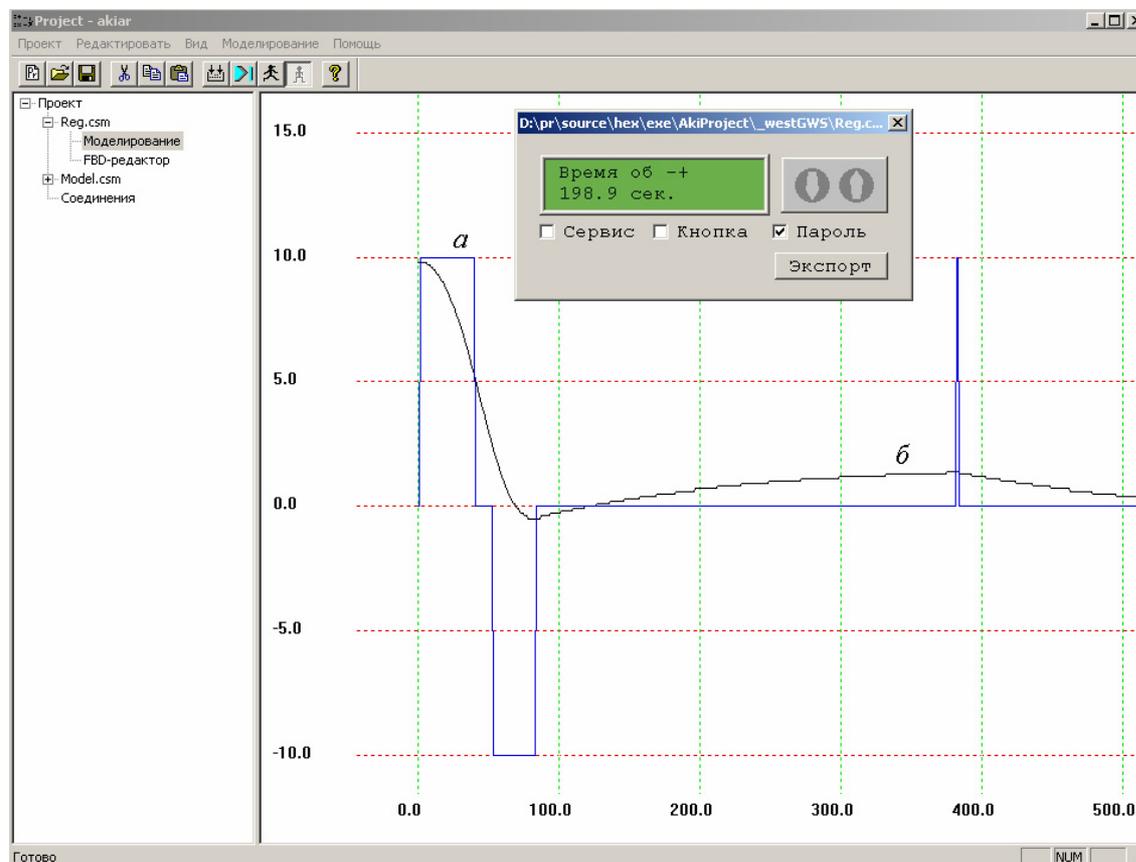


Рис. 8. Окно программы моделирования

**Заключение**

Представлен программный комплекс исследования автоматических регуляторов «АКИАР». Рассмотрены его структура, функциональные возможности, а также преимущества и ряд особенностей, отличающих его от аналогичных продуктов. Приведено краткое описание языка функциональных блок-диаграмм (FBD) и библиотеки функциональных блоков «АКИАР».

В заключение дан пример программирования на языке FBD простейшего алгоритма управления

реальным технологическим процессом. На рассмотренном примере автоматизации системы ГВС получено представление о работе комплекса «АКИАР» в общем; составлении блок-схем на функциональных блоках, моделировании переходных процессов и получении оптимальных результатов настройки в частности. Программный комплекс «АКИАР» имеет возможности для совершенствования создания алгоритмов управления и автоматизации технологических процессов различной степени сложности.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кузнецов А. SCADA-системы: программистом можешь ты не быть... // СТА. – 1996. – № 1. – С. 32–35.
2. IEC 65B/373/CD, Voting Draft – IEC 61131-3. Programmable controllers. Part 3: Programming languages, 2<sup>nd</sup> Ed – International Electrotechnic Commission, 1993.
3. Зюбин В.Е. К пятилетию стандарта IEC 1131-1. Итоги и прогнозы <http://www.msclub.ce.cctpu.edu.ru/plc/iec1131.htm>
4. Зюбин В.Е. Программирование ПЛК: языки МЭК 61131-3 и возможные альтернативы // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – № 11. – С. 31–35.
5. Протокол MODBUS. Протоколы обмена приборами фирмы «Взлёт». Руководство пользователя – СПб.: ЗАО «Взлёт». – 2000. – С. 39–52.
6. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация.

Поступила 09.10.2007 г.

УДК 658.012.011.56:681.324

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ**

С.А. Богдан, А.В. Кудинов, Н.Г. Марков, С.С. Родикевич\*

Институт «Кибернетический центр» ТПУ

\*ОАО «Востокгазпром», г. Томск

E-mail: gislab@ce.cctpu.edu.ru

*Рассмотрена специфика диспетчерского управления в газодобывающей компании, предлагается корпоративная геоинформационная система «Магистраль-Восток» для управления газодобывающими предприятиями, описывается опыт внедрения этой системы в ОАО «Востокгазпром».*

**Введение**

При анализе проблем автоматизации диспетчерского управления на предприятиях газовой отрасли чаще всего в фокусе внимания оказываются проблемы автоматизации диспетчерских служб газотранспортных предприятий. Большинство существующих как методологических, так и технических решений, аппаратно-программных комплексов и систем автоматизации направлены на решение задач диспетчеризации транспорта газа [1]. Не менее актуальна проблема автоматизации диспетчерских служб газодобывающих предприятий. Внедрение систем автоматизации диспетчерских служб позволит объединить информационные потоки различных служб предприятия и упростить тем самым их взаимодействие, что поможет в итоге повысить оперативность принятия управленческих решений и снизить затраты на достижение основных плановых показателей.

В данной работе рассматривается решение задачи автоматизации диспетчерских служб газодобывающего предприятия путем организации автоматизированного рабочего места (АРМ) диспетчера в рамках геоинформационной системы управления производством «Магистраль-Восток».

**Задачи диспетчерского управления в газодобывающей компании**

Поскольку объекты добычи и подготовки углеводородного сырья (УВС) на газовых промыслах одной газодобывающей компании часто находятся в труднодоступных районах, распределены по большой территории, очевидно, что диспетчерское управление в такой компании должно иметь иерархическую и многоуровневую структуру (диспетчеры месторождения – производственно-диспетчерская служба – ПДС; диспетчер предприятия – центральная производственно-диспетчерская служба – ЦПДС).