

Экспериментальная проверка работоспособности и эффективности самоорганизующегося регулятора

Проблема адаптивного автоматического регулятора относится к числу фундаментальных проблем, не получивших пока исчерпывающего решения, несмотря на полувековую историю развития и огромное число публикаций. Некоторое расширение практического применения отдельных известных вариантов адаптивного управления в последний период связано не столько с разработкой высокосовременных принципов и алгоритмов, сколько с всеобщей компьютеризацией управления, внедрением микропроцессоров. В современных условиях актуальность создания высокосовременных адаптивных регуляторов не только не уменьшается, но возрастает. Это связано с тем, что процессы регулирования и регулируемые объекты непрерывно усложняются, а время, отводимое на разработку этих объектов и процессов, сокращается. Ужесточаются требования к обеспечению работоспособности в нештатных ситуациях, универсальности, модульности построения, надежности, безопасности, снижению стоимости аппаратуры. Все это указывает на необходимость новых подходов к принципам построения адаптивных регуляторов, расширения этих принципов в направлении сочетания адаптации с оптимальностью и минимальным априорным информационным обеспечением.

Один из таких подходов применяет в выполняемых им проектах НПО "АМТ". Этот подход реализует принцип построения нового класса адаптивных регуляторов – самоорганизующегося типа, основанный на сочетании процедур оптимального оценивания параметров (идентификации) и состояния (фильтрации) управляемого процесса с процедурами оптимизации управления. К настоящему времени предприятием разработано алгоритмическое обеспечение оптимальных адаптивных регуляторов нового класса, реализующих принципы не только параметрической, но и структурной адаптации, и выполнено имитационное моделирование процессов в системах управления, включающих различные сложные нестационарные (с изменяющимися характеристиками) нелинейных конкретных объектов и указанные адаптивные регуляторы. Результаты

моделирования показали большие потенциальные возможности этих регуляторов. Однако для окончательной оценки преимуществ таких регуляторов необходимо проведение экспериментальных исследований.

Принципы адаптации систем управления сложными нелинейными объектами

Структурная схема системы автоматического управления с адаптивным регулятором нового класса представлена на рис. 1. Принятые обозначения: X – внутренние переменные состояния объекта управления, Z – контролируемые переменные состояния объекта управления, U – управление, индексы "о, ш, а, м" – соответственно "оптимальное управление, оптимальное управление в штатном режиме, оптимальное управление в аварийном режиме, переменные модели".

Адаптивный регулятор отличается от традиционного, который, как правило, содержит только измерительные устройства и блок управления, наличием дополнительных блоков оптимального оценивания и идентификации. Оптимальное управление возможно лишь при условии оптимальной обработки информации. Эти функции –

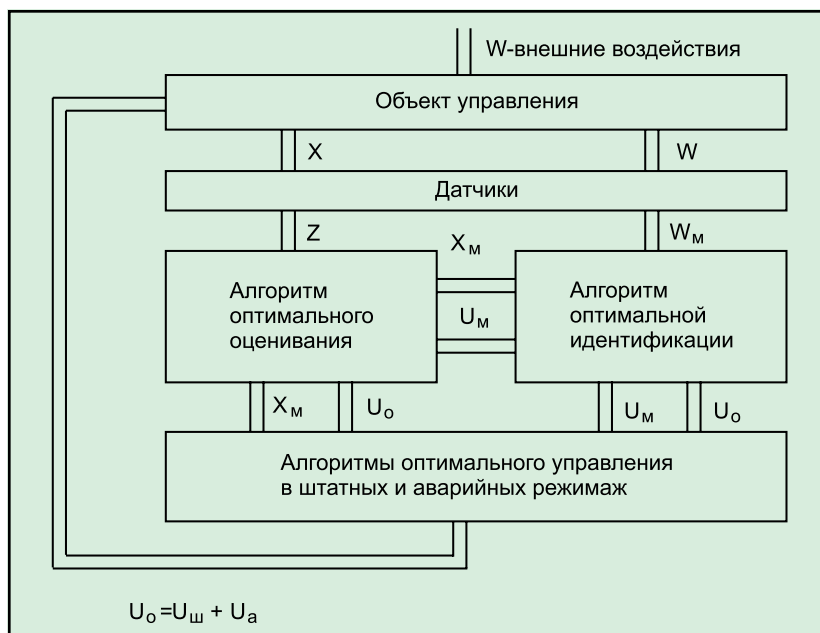


Рис. 1. Схема оптимальной адаптивной системы управления

оптимальное оценивание состояния и идентификацию параметров и характеристик объекта управления по экспериментальным данным – реализуют указанные блоки. Оценивание состояний – это определение текущих значений таких переменных процесса, которые не могут быть измерены непосредственно или могут быть измерены лишь с большими помехами. Особенно полезны методы оценивания текущего состояния для тех процессов, где недостаточно измерительных устройств или очень велика цена отдельных измерений. Алгоритмы оценивания и идентификации позволяют определять структуру модели объекта и восстанавливать параметры этой модели, т.е. реализовывать принципы как структурной, так и параметрической адаптации.

В зависимости от используемых алгоритмов оптимального оценивания, идентификации и управления возможны самые различные реализации адаптивных систем управления. Однако целесообразно их формирование согласовывать как с общими требованиями к системам управления, так и с современными, к основным из которых относятся следующие:

- ▶ минимум необходимой априорной информации не только о параметрах, но и о структуре модели управляемого объекта и внешних воздействий;
- ▶ минимальное вмешательство в естественное течение процесса;
- ▶ наличие прогнозирования управляемого процесса;
- ▶ оптимальное управление в соответствии с изменяемым комплексным критерием и ограничениями, обеспечивающими на всех этапах и режимах работы объекта управления;
- ▶ возможность реализации на базе программируемых промышленных контроллеров.

Этим требованиям, как показал опыт последних лет, большинство известных адаптивных систем принципиально не удовлетворяют. Например, для системы адаптивного управления в реальном времени с моделью, идентифицируемой также в реальном времени, необходимы:

- ▶ математическая модель (ММ), хотя бы упрощенная;
- ▶ координатные “пробные” возмущения, так как естественные возмущения и движение в режиме стабилизации часто малоинформативны;
- ▶ достаточно длительное время идентификации, которое явно отсутствует при внезапном возникновении многих нештатных ситуаций;
- ▶ вычислительные ресурсы, исключая для сложных моделей микропроцессорную встроенную реализацию.

Все это противоречит указанным выше современным требованиям. Современным требованиям могут удовлетворять только адаптивные оптимальные системы управления с высоким уровнем искусственного интеллекта – самоорганизующиеся системы управления. Заметим, что термин “самоорганизующаяся система управления” был введен профессором Дж. Саридисом (США) в 1978 г. По классификации Дж. Саридиса адаптивные системы с высоким уровнем искусственного интеллекта именуются самоорганизующимися системами с функциональной (структурной) адаптацией.

Разрабатываемые варианты систем управления с адаптивными регуляторами, реализующими принципы структурной и параметрической адаптации, относятся к системам с дискретным временем (цифровым или импульсным). Свойства объекта управления, подлежащего управлению, включая математическую модель, полагаются неизвестными. Непрерывное время разбивается на циклы, самым коротким интервалом времени является шаг. Входной величиной является сигнал рассогласования Z между задающим воздействием и выходной величиной управляемого объекта. Сигнал рассогласования с помощью алгоритмов оценивания на основе фильтров Калмана обрабатывается на каждом шаге. В блоке оптимальной идентификации по выбранному показателю, измеряемому и вычисляемому в ходе самого процесса управления, связанного с качеством, точностью регулирования на каждом цикле или на протяжении ряда циклов, осуществляется автоматический выбор порядка модели оцениваемого процесса. На выходе системы устанавливается экстраполятор нулевого порядка, обеспечивающий кусочно-постоянную экстраполяцию и обновление сигнала управления на каждом цикле. В течение цикла положение органа управления остается неизменным. Самоорганизация системы управления, следовательно, осуществляется с помощью взаимосвязанных принятых алгоритмов оценки состояния системы, фильтрации входной информации, структурной и параметрической адаптации автоматически формируемой модели, и, наконец, автоматически определяемых оптимальных управляющих воздействий.

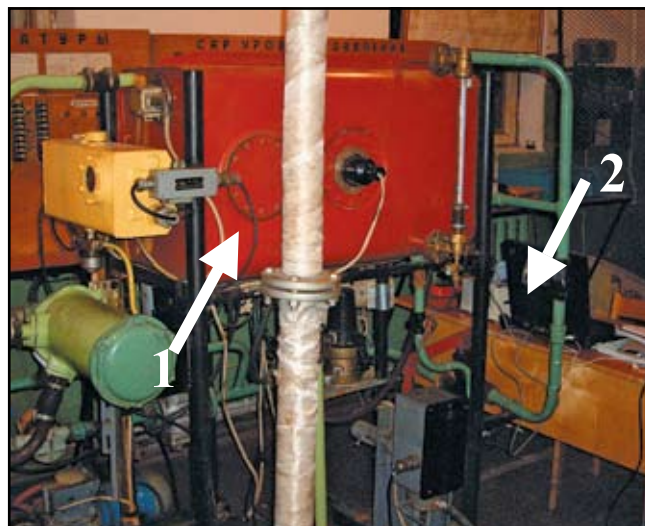


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка была разработана и создана в Военном инженерно-техническом университете Министерства обороны РФ. Общий вид установки представлен на рис. 2. Исходная экспериментальная установка состояла из двух основных частей:

- ▶ барабана модели водогрейного котла как объект управления уровнем воды – 1;
- ▶ самоорганизующегося регулятора уровня воды – 2.

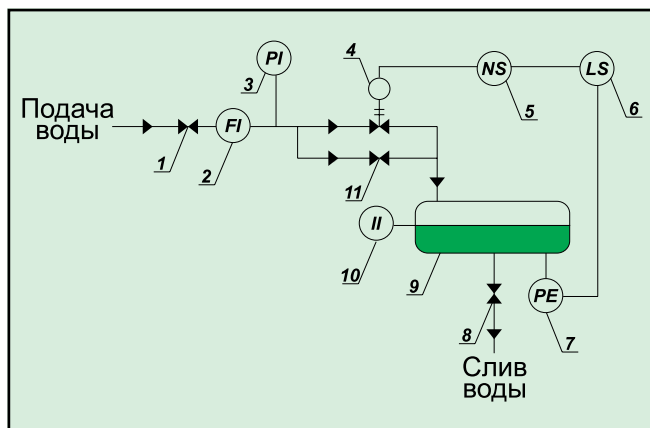


Рис. 3. Функциональная схема экспериментальной установки

На рис. 3 представлена функциональная схема экспериментальной установки. Состав объекта управления:

- ▶ трубопровод подачи питательной воды с запорно-регулирующими органами – 1, 4, 11;
- ▶ барабан модели котла – 9;
- ▶ приборы – 2, 3, 10;
- ▶ сливной трубопровод с запорно-регулирующим органом – 8.

Состав регулятора:

- ▶ датчик давления (уровня) воды (преобразователь измерительный “Сапфир-22”) – 7;
- ▶ микропроцессорное устройство (промышленный контроллер), реализующее самоорганизующиеся алгоритмы – 6;
- ▶ исполнительный механизм (запорно-регулирующий орган подачи питательной воды типа ЕСПА 02РГ с электроприводом и контактором – 5) – 4.

Экспериментальная установка содержит систему контроля технологических параметров, состоящую из:

- ▶ объемного счетчика – 2;
- ▶ манометра – 3;
- ▶ смотрового стекла – 10.

Принцип действия установки следующий. Из системы водоснабжения питательная вода подается в барабан 9 модели котла через запорно-регулирующие органы 1, 4, 11. Слив воды осуществляется через запорно-регулирующий орган 8. Система регулирования уровня воды содержит датчик давления (уровня) воды 7, чувствительный элемент которого непосредственно взаимодействует с водой, запасаемой в барабане котла. При отклонении уровня воды от заданного, от датчика 7 подается сигнал соответствующего уровня на вход регулятора 6, который воздействуя на исполнительный механизм 4, открывает или закрывает запорно-регулирующий орган на линии подачи питательной воды. Визуальный контроль изменения технологических параметров системы осуществляется с помощью показывающих приборов 2, 3 и 10.

Барабан модели водогрейного котла как объект регулирования уровня воды, как известно, является объектом с сосредоточенными параметрами, т.е. с неизменяющимися характеристиками, и поэтому регулирование уровня воды может осуществляться традиционными регуляторами с постоянной настройкой. В соответствии с целью работы объект регулирования должен быть нестационарным (с изменяющимися характеристиками) и нелинейным.

В связи с этим требовалась трансформация объекта управления с сосредоточенными параметрами в нестационарный объект. Для создания нестационарного (с изменяющимися характеристиками) обобщенного объекта использована особенность системы водоснабжения, из которой подается в барабан. Эта особенность заключается в изменении давления воды в ней в диапазоне 1-2,5 атм., которое носит случайный характер. Обычно в системах регулирования уровня обеспечивается поддержание постоянного давления питательной воды, что в рассматриваемом варианте не делается. Такое изменение давления питательной воды приводит к изменению характеристики запорно-регулирующего органа непредсказуемым образом и, как следствие, к обобщенному объекту как нестационарному объекту регулирования уровня воды. Характеристики отдельных элементов рассматриваемого обобщенного объекта управления при этом являются существенно нелинейными. В частности, характеристики как датчика, так и исполнительного механизма с запорно-регулирующим органом имеют зоны нечувствительности (“мертвые зоны”), насыщение, в барабане – значительное запаздывание. Следовательно, при указанной организации подвода питательной воды регулированию подлежит уровень воды в нестационарном нелинейном обобщенном объекте, включающем датчик с нелинейными характеристиками, исполнительный механизм с запорно-регулирующим органом с нестационарными нелинейными характеристиками и барабан модели котла как элемент системы со значительным запаздыванием.

Микропроцессорное устройство (ПК)

Микропроцессорное устройство включает аппаратную и программную части. Аппаратная часть построена на базе комплекта, включающего:

- ▶ микропроцессорный модуль CPU-686E (Fastwel);
- ▶ модуль аналогового ввода-вывода AIN16-5A3 (Fastwel);
- ▶ модуль дискретного вывода DO32 (Fastwel).

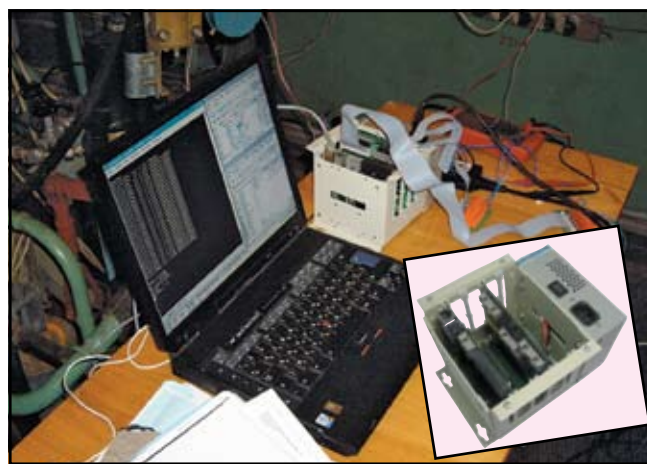


Рис.4. Каркас с установленными модулями и блоком питания

Модули выполнены в стандарте MicroPC и установлены в каркас ICC190-4, имеющий объединительную шину ISA (рис. 4). Питание модулей осуществляется с помощью блока питания 5105 (Octagon Systems) через объединительную шину ISA.

Программная часть включает системное и прикладное программное обеспечение (ПО).

Системное ПО представляет собой операционную систему GNU/Linux, дистрибутив Gentoo (ядро 2.6.22). В регуляторе используется сборка Gentoo с профилем "embedded", имеющая небольшой размер (менее 5 Мб) и минимальный необходимый набор утилит (BusyBox). Работа осуществляется через хост-машину с помощью протокола SSH. Для разработки прикладного ПО используется стандартный для Linux систем компилятор G++ для языка C++ из GNU Compiler Collection. Для удобства работы с этим компилятором используется утилита make, также являющаяся стандартной для Linux-систем.

Основные результаты экспериментальных исследований

На рис. 5, 6 приведены графики переходных процессов изменения уровня воды (красного цвета) и положения регулирующего органа (зеленого цвета) в системе при изменении давления воды как в системе подвода, так и при различных возмущениях (нагрузках), а также в настройках самоорганизующегося регулятора. По оси абсцисс указано время в минутах, по оси ординат – значение напряжения на выходе датчика, соответствующее определенному значению уровня воды в барабане (регулируемый параметр). Из приведенных графиков следует, что регулятор обеспечивает устойчивое поддержание уровня при любом варианте возмущающих воздействий – изменении расхода воды или случайном изменении давления в системе питания.

Из графиков также наглядно видно высокое качество переходных процессов и соответственно высокая эффективность регулятора, что обеспечивается благодаря целенаправленному выбору значений времени шага $T_{ш}$ и цикла $T_{ц}$ при формировании управляющих воздействий.

Проведенные исследования показали соответствие самоорганизующегося регулятора предъявляемым современным требованиям. Регулятор удовлетворяет требованию минимальной необходимой априорной информации о структуре, параметрах регулируемого объекта, возмущениях и окружающей среде. Действительно, настройка регулятора не потребовала наличия математической модели элементов обобщенного объекта – датчика, исполнительного механизма с запорно-регулирующим органом, барабана модели котла. Не потребовалась также детальная информация об окружающей среде – параметрах изменения давления питательной воды. Сам принцип действия регулятора способствует быстрой адаптации к изменению режима и структуры регулируемого объекта. Этот принцип удовлетворяет также другому важному требованию, предъявляемому к современным системам автоматического и автоматизированного управления сложными технологическими процессами и объектами, который заключается в минимальном вмешательстве в их естественное течение, по крайней мере, в штатных режимах. Для функционирования регулятора не требуется организация "пробных" сигналов. Высокое качество переходных процессов, практическое отсутствие статической ошибки

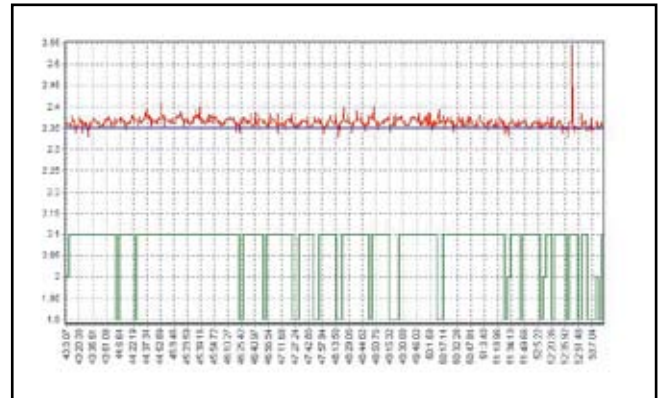


Рис. 5. Графики переходных процессов при $T_{ш} = 0,4$; $T_{ц} = 3,2$

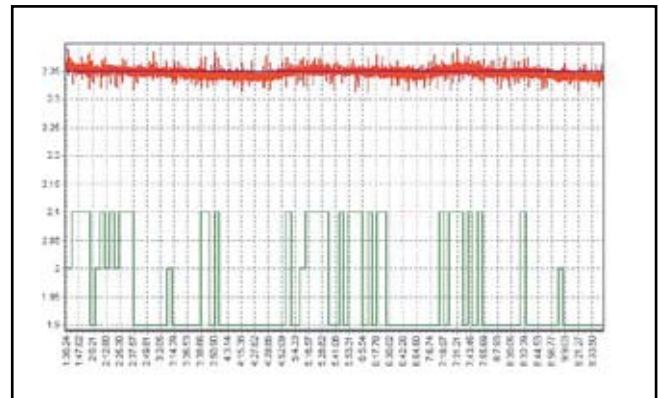


Рис. 6. Графики переходных процессов при $T_{ш} = 0,1$; $T_{ц} = 4$

обеспечивается использованием согласованных алгоритмов оценивания, идентификации и оптимального управления в соответствии с определенным критерием.

Таким образом, в результате проведенной работы разработаны натурный образец самоорганизующегося регулятора, его алгоритмическое, программное и аппаратное обеспечение, а также методика настройки. Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность и эффективность самоорганизующегося регулятора, алгоритмы которого реализуют принципы как параметрической, так и структурной адаптации.

Применение самоорганизующихся регуляторов наиболее эффективно для автоматизации сложных нестационарных (с изменяющимися характеристиками) нелинейных объектов, математические модели которых или отсутствуют, или их разработка требует больших затрат, а также объектов, не допускающих "пробные возмущения". Такими объектами являются большинство современных объектов судостроения, энергетики, нефтехимической промышленности, для которых характерны непрерывные технологические процессы большой мощности с жесткими требованиями к совокупности характеристик, удовлетворить которые, опираясь на регуляторы постоянной настройки, почти невозможно. Для сложных технологических объектов замена традиционных регуляторов постоянной настройки на самоорганизующиеся регуляторы приведет к ряду важных последствий, а именно:

- ▶ влияние факторов, связанных с изменением состояния и свойств объекта, внешних условий и нарушающих заданные технологические процессы, будет регулироваться автоматически до пределов, ответственных управляющим воздействиям;

- ▶ система с таким регулятором имеет возможность быстрой самоорганизации контуров управления в условиях аварийных нештатных ситуаций;
- ▶ используемые алгоритмы способствуют относительной простоте программного обеспечения регулятора, возможности его микропроцессорной реализации на промышленных контроллерах и настройке;
- ▶ микропроцессорная реализация регулятора, алгоритмы оценивания и идентификации позволяют практически мгновенно передавать на информационное поле оператора или/и автоматы защиты текущие и экстраполируемые нарушения регулируемых технологических процессов. Это обстоятельство дает возможность расширить круг решаемых регулятором задач и позволяет создавать помимо систем регулирования сложных нестационарных объектов системы их контроля, диагностирования, автоматической

сигнализации и аварийной защиты принципиально нового типа и отличающиеся от существующих повышенной эффективностью;

- ▶ расширенный круг решаемых задач, универсальность таких регуляторов, модульность их построения позволит существенно снизить стоимость их внедрения и повысить конкурентоспособность автоматизированных сложных объектов.

В экспериментальных работах, описанных в данной статье, принимали участие сотрудники как НПО "АМТ", так и ВИТУ МО РФ Л. В. Баскаков, к.т.н., доцент, А. Н. Терехин, к.т.н., доцент, С. Н. Кирюхин, к.т.н., доцент, К. Р. Есипов, А. А. Жалдак, В. А. Пучинский.

**Э. Б. Быков, к.т.н., генеральный директор,
И. И. Туркин, д.т.н., профессор,
заместитель генерального директора, НПО "АМТ"**

НОВОСТИ

Проверенная защита от "Доктор Веб" и Sun

Компания "Доктор Веб" и корпорация Sun Microsystems провели тестирование новейшего шлюза безопасности, созданного на основе продуктов обеих компаний. Проведенное исследование подтвердило, что шлюз безопасности, разработанный на основе аппаратной платформы Sun Microsystems Sun Fire X4150 и решений компании "Доктор Веб" (Dr.Web для почтовых серверов Unix и Dr.Web для Интернет-шлюзов Unix), обеспечивает защиту от вирусов и спама при любых, даже максимально жестких, условиях эксплуатации и полностью подходит для защиты сервисов компаний и организаций самого разного размера при высокой экономической эффективности решения.

В современных условиях задача обеспечения информационной безопасности является одной из наиболее актуальных для большинства компаний и организаций. В постоянно пополняемом списке угроз – появление все новых и новых вирусов, потоки спама, атаки хакеров и утечки данных. Без надежно функционирующей системы защиты сохранение бизнеса является чрезвычайно сложной и высокоприоритетной задачей. Но при этом, как внедрение, так и использо-

вание современных решений требует не только больших денежных затрат, но и высокой квалификации сотрудников отделов информационной безопасности.

Во многих случаях выходом становится использование шлюза безопасности – программно-аппаратного комплекса, заранее настроенного квалифицированными специалистами по информационной безопасности и готового к работе, буквально сразу, "из коробки". Такое решение значительно удешевляет для конечного пользователя совокупную стоимость системы защиты наиболее часто используемых для распространения вирусов и спама протоколов передачи данных. Оптимизация стоимости достигается в том числе и за счет того, что программно-аппаратные комплексы представляют из себя линейку продуктов, рассчитанную на работу в условиях, характерных для самых различных видов бизнеса. Именно поэтому одним из важнейших итогов проведенного исследования стало определение наиболее подходящих (типовых) конфигураций серверов для различных групп пользователей.

Проведенное исследование доказало, что шлюз безопасности, созданный совместными усилиями компаний

"Доктор Веб" и Sun Microsystems, способен обрабатывать до 30 сообщений в секунду не только в период пиковых нагрузок, но и в течение всего цикла тестирования. Несмотря на, казалось бы, небольшую величину производительности, она позволяет использовать данный программно-аппаратный комплекс в организациях различного размера. По расчетам, данной производительности может быть достаточно для компании с числом сотрудников до 250 человек и уровнем спама в 90 % от общего количества трафика!

Высокая экономическая эффективность предложенного решения обусловлена уникальными характеристиками как решений компании "Доктор Веб", построенных с использованием новейших разработок, так и современной аппаратной платформы Sun Fire X4150 на базе двухядерных процессоров Intel Xeon, работающей под управлением операционной системы Solaris 10, которая уже за счет своих характеристик позволяет сократить совокупную стоимость владения, обеспечивая самый высокий уровень производительности.

Оборудование для тестирования было предоставлено дистрибьюторской компанией OCS.

"Уралхимпласт" выбирает эффективное планирование

Компания GMCS запустила проект создания автоматизированной системы годового и месячного планирования на базе IBM Cognos Planning для холдинга "Уралхимпласт", крупнейшего российского производителя синтетических смол и пластмасс.

Среди возможностей нового решения, внедряемого GMCS: формирование отчетов в режиме реального времени и многопользовательская работа в единой системе бюджетирования Cognos Planning с данными, хранящимися в ERP и других программных продуктах, используемых в компании, при сохранении тесной интеграции с Excel.

Проект был запущен в декабре 2007 года. В ходе первого этапа специалистами GMCS было проведено обследование и описание процессов планирования, что позволило начать разработку модели IBM Cognos Planning с последующим ее внедрением в "Уралхимпласт".

Согласно планам обеих компаний, система годового планирования будет запущена в эксплуатацию во II квартале 2008 года, система ежемесячного планирования – до конца 2008 года.

Научно-производственное объединение "АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЙ"



судостроение

нефтехимия

порты

энергетика

Системы
управления

Распред-
устройства

Пульты управления

НПО "АМТ"

196128, Санкт-Петербург, Благодатная ул., 6

Тел./факс: (812) 369-88-05, 369-01-79, 369-00-87

www.amtnpo.ru

e-mail: info@amtnpo.ru