



Михаил Перцовский,
директор
ООО «Лаборатория
автоматизированных
систем (АС)»,
кандидат физико-
математических наук

Автоматизация испытаний в аэрокосмической отрасли — искусство или технология?

Ранее в журнале «Аэрокосмический курьер» (№№1,5-2010 г.) автор уже писал о стратегии технического перевооружения и модернизации испытательной базы предприятий авиационной и ракетно-космической отраслей. Поскольку публикации вызвали интерес читателей, предлагается новая статья, в которой основные положения, изложенные в предыдущих публикациях, дополнены практическими рекомендациями. О заинтересованности в развитии данной темы свидетельствуют отклики на публикации, материалы ведущих профильных конференций, дискуссии в профессиональной среде.

На аэрокосмических предприятиях разработан и применяется уникальный парк испытательного оборудования, которое может и должно полноценно использоваться при создании новых изделий и их наземной отработке на всех этапах жизненного цикла. Наиболее быстрый и эффективный способ модернизации — это замена или новая разработка систем автоматизации испытательных стендов (ИС). Нынешний этап развития информационных технологий позволяет быстро, практически не выводя используемое оборудование из цикла текущих работ, и в рамках разумного финансирования обеспечить

соответствие модернизации имеющегося испытательного оборудования современным требованиям. Сетевые технологии и базы данных дают возможность перейти к созданию нового уровня — «надстройки» над отдельными стендами и установками и организовать сквозной обмен данными и отчетности в рамках испытательной базы всего предприятия. Одновременно это является этапом формирования единого информационного пространства испытательной базы предприятия или отрасли в целом. Именно уровень автоматизации при проведении исследований и испытаний новой техники во многом определяет качество проводимых работ, конкурентоспособность получаемых результатов. Грамотно и эффективно проводимые испытания, мониторинг процессов, единая технология разработки комплексных систем и организации работы с получаемыми данными позволяют добиваться прямой экономии денежных средств за счет интенсификации использования дорогого оборудования, увеличения его ресурсной эксплуатации, получения новых результатов.

В данной статье описывается опыт «Лаборатории автоматизированных систем (АС)» в организации современных систем проведения экспериментов и испытаний, включающих средства вычислительной техники и автоматизации. Предлагаются инструментальные средства поддержки проектирования, средства тестирования и отладки на этапе их создания, базовые программно-аппаратные компо-

ненты и средства поддержки функционирования действующих систем. Все предлагаемые решения прошли апробацию и используются нами при реализации систем измерения и управления ИС на ряде предприятий ракетно-космической и авиационной отраслей.

Организация современных испытательных комплексов

При организации современных испытательных комплексов (систем), включающих средства вычислительной техники и автоматизации, разработчики сталкиваются с необходимостью стыковки разного, порой уникального, оборудования с ЭВМ. При этом должны быть согласованы функциональные и технические возможности самых разнообразных приборов и оборудования, образующих испытательный комплекс, в условиях многообразия и сложности решаемых задач. Множество возможных вариантов подключения, соответствующих разным стандартам, усложняет задачу.

С другой стороны, оператору должна быть предоставлена возможность активного участия в процессе работы комплекса и быстрой перестройки структуры его функционирования в соответствии с динамикой процесса испытания. При этом его общение с оборудованием (в том числе с ЭВМ), должно быть максимально проблемно ориентированным при минимальных требованиях к знанию средств вычислительной техники.

Управление разными приборами и компонентами ИС, осуществляемое по единой идеологии с одной консоли оператора, существенно повышает эффективность труда последнего и делает его работу более комфортной, а используемые приборы получают качественно новые свойства. Даже весьма давно разработанные и используемые стенды после их включения в автоматизированные комплексы вполне отвечают современным требованиям. Из сказанного следуют два основных направления развития работ: обеспечение решения задач по автоматизации процесса работы комплекса, включая упрощение общения оператора с оборудованием в целом (человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) на уровне пользователя: интерфейс верхнего уровня); обеспечение программно-аппаратных средств сопряжения различного оборудования с ЭВМ, включая диалоговые средства настройки этого интерфейса (ЧМИ системного уровня: интерфейс нижнего уровня).



Уникальная поршневая газодинамическая установка (ПГУ) — ЦНИИмаш, модернизированная «Лабораторией автоматизированных систем (АС)» с применением описанных методов



С другой стороны, обеспечение высокой надежности функционирования сложных комплексов является требованием, выполнение которого столь же желательно, сколь и непросто. Для класса систем, объединяемых понятием важных для безопасности, требование надежности становится абсолютным. Необходимость проведения мероприятий на всем жизненном цикле создания и эксплуатации таких систем закреплено многими международными и национальными стандартами (например, полный жизненный цикл безопасности системы контроля и управления (overall safety life cycle of the I&C) – стандарт IEC61508). Для достижения этого на этапе проектирования традиционно создаются дополнительные средства тестирования, как внешние по отношению к системе, так и встроенные. На этапе использования системы это средства многократного контроля всех параметров, взаимосвязанные с дублированием (для наиболее важных узлов – с троированием и т.д.) и возможностью «горячего» подключения. При этом интеллектуальные и материальные затраты на средства поддержки могут во много раз превышать стоимость самой системы.

Решение проблемы сокращения расходов при сохранении необходимого уровня надежности лежит в создании таких комплексных методов и средств, которые позволят обеспечить процесс высокотехнологического проектирования и одновременно станут средствами поддержки функционирования готовых систем. В настоящее время на рынке автоматизации предлагается огромное количество разнообразных по своей функциональности и организации и выполненных в самых разных стандартах аппаратно-программных средств и компонент построения систем автоматизации. Причем распространенное заблуждение, что покупка какого-то их количества решит проблему модернизации, приводит часто к неоправданным затратам на приобретение иногда неадекватного конкретной задаче набора. Поэтому конфигурирование и проектирование архитектуры будущей системы автоматизации становится искусством, во многом зависящим от квалификации конкретного исполнителя. Только после осознания всей задачи в целом, тщательной проработки и детального проектирования архитектуры системы автоматизации испытательного комплекса можно говорить о грамотном выборе необходимого набора программно-аппаратных средств.

Разработка технологии построения систем автоматизации ИС в соответствии с задачами, решаемыми в ходе проведения испытания и не зависящими от набора используемых при автоматизации средств,



Пульт и шкафы управления ПГУ. Разработка и изготовление – «Лаборатория автоматизированных систем (АС)»

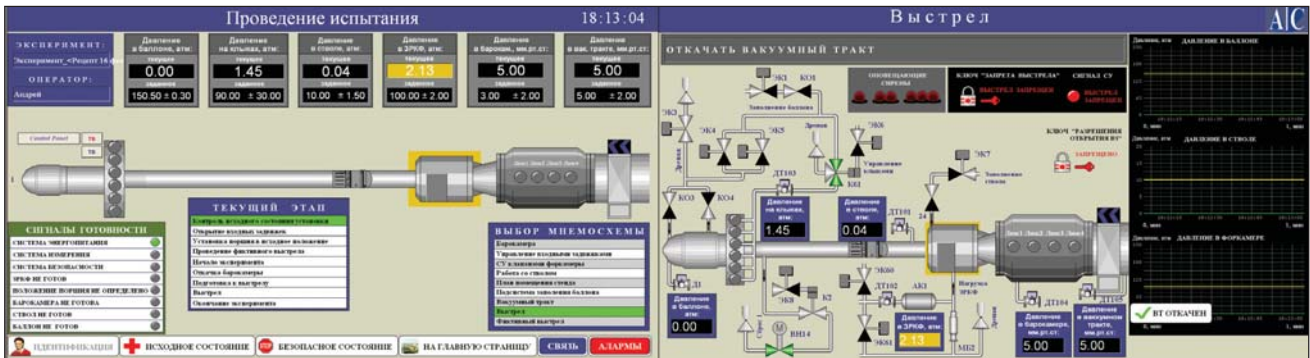
позволит максимально удешевить и унифицировать процесс автоматизации с одновременным повышением качества работ, сделать его мало зависящим от человеческого фактора. «Технологично» выполненные системы автоматизации будут «комплементарны» между собой, решат проблему «зоопарка» используемых средств автоматизации и позволят сделать их легко развиваемыми и масштабируемыми.

Рассмотрим опыт применения ряда средств для решения разработанных на нашем предприятии обозначенных выше задач. Инструментальные средства поддержки проектирования, средства тестирования и отладки на этапе создания испытательных комплексов, базовые программно-аппаратные компоненты и средства поддержки функционирования действующих систем строятся на основе общих методов и технологий. При этом каждая конкретная проектируемая система наследует свойства породившей ее среды и может включать подсистемы самотестирования и адаптации к изменяющимся условиям функционирования, метрологической поддержки измерительных каналов, которые могут работать постоянно и в реальном времени. При этом полностью выполняются рекомендации стандарта IEC 61508.

Интеграция программно-аппаратных компонент в автоматизированные испытательные комплексы

Можно с удовлетворением констатировать, что выполнение этапа проектирования с выпуском рабочей документации снова становится нормой при разработке и изготовлении крупных систем автоматизации. (Определенный период времени его просто игнорировали под предлогом эко-

номии средств). На этапе проектирования детально прописывается, как и из чего будут строиться система автоматизации и алгоритмы функционирования всех ее узлов, определяется выбор программно-аппаратных средств, обеспечивающих реализацию поставленной задачи. С другой стороны, до ответа на вопрос, как будет реализована разрабатываемая система, необходимо иметь точное формальное описание того, что она собственно должна делать без привязки к конкретным средствам и компонентам автоматизации. Этот этап называется функциональной спецификацией, в результате мы получаем функциональную структуру автоматизированного испытательного комплекса без указания на какой аппаратуре и ПО он будет реализован. В качестве средства представления функциональной структуры мы предлагаем использовать информационно-алгоритмическую модель. Ее суть в том, чтобы иметь возможность представлять и анализировать в комплексе динамику и статику системы автоматизации уже на начальных этапах жизненного цикла – спецификации функциональной структуры. Модульный подход является одним из ключевых при построении функциональной структуры на этапе спецификации системы. Существуют три типа модульных методов: поток команд – модули выполняются в последовательной командной среде; поток данных – модули связываются последовательными потоками данных; объединение этих двух методов – потоки команд и данных взаимодействуют и дополняют друг друга. Одним из принципиальных отличий объединенной модели является явное разделение структур потоков управления (алгоритмическая модель) и потоков данных (информационная мо-



Примеры экранов автоматизированной системы ПГУ

дель). Алгоритмическая модель определяет поток команд управления через последовательность модулей с точки зрения временных интервалов. Информационная модель определяет для каждого модуля требования по данным, т.е. взаимодействие между данными и модулями с точки зрения пространства. Как средство представления информационно-алгоритмической модели используется графовая модель.

Модуль может быть определен как $f_m(A, B, \dots) = (C, D, \dots)$. Это означает, что входные данные (A, B, \dots) , называемые областью, обрабатываются модулем m и результаты сохраняются в (C, D, \dots) , называемой противообластью. Отдельный модуль может различаться по сложности – от простого оператора (например, сложения) до вычислительного элемента произвольной сложности, такого как микропроцессор. Каждый модуль связан через свою область и противообласть с графом данных. Целью анализа объединенного функционального модуля информационно-алгоритмической модели является декомпозиция его графа управления, то есть переход от описания в виде цепочек к базовым дугам. Для отображения взаимоотношения между главным графом и подграфами в графе управления создается древовидная структура, после чего осуществляется проверка досто-

верности, чтобы обеспечить непротиворечивость и завершенность пары графов. Наиболее важной является проверка на наличие циклов в графе управления. Другая важная характеристика, определяемая из модели, это детерминированность пары графов, то есть результат любого действия графа зависит единственно от первоначальной конфигурации данных и преобразований, выполненных модулями над данными. Для каждого первоначального состояния вычисление пары графов всегда достигает одного и того же конечного состояния.

Важной особенностью модели является возможность, исходя только из функциональности системы автоматизации и общего представления требований задачи заказчика, анализировать и оптимизировать организацию потоков данных и управления автоматизируемого комплекса в целом. Это позволяет избежать во многих случаях переделок на этапе, когда уже затрачены значительные средства.

Этап спецификации функциональной структуры является обязательным для автоматизации объектов со сложным алгоритмом управления, имеющим большое число обратных связей или условно-причинным алгоритмом функционирования. При автоматизации научных экспериментов и испытательных установок приходится иметь де-

ло с априорно неопределенным алгоритмом работы системы в целом. В этом случае заложить возможность простой адаптации системы уже на этапе ее проектирования можно опять-таки на базе применения информационно-алгоритмической модели.

Интегрированная среда сбора, обработки и представления данных автоматизированных испытательных комплексов

Интерфейс пользователя каждого конкретного испытательного комплекса строится как специализированная интегрированная среда, объединяющая частные программные оболочки управления подсистемами комплекса. Ядро такой среды составляют средства многооконной визуализации первичных и обработанных данных, настройки и управления комплекса в целом, выбора режимов функционирования, которые позволяют выполнять действия наиболее общего характера.

Сбор данных

По принятой нами концепции взаимодействия с внешними устройствами для каждого типа интерфейсного оборудования разрабатывается динамическая библиотека, поддерживающая функционирование его устройств сопряжения. Активизация из интегрированной среды динамической библиотеки, ответственной за взаимодействие с внешними устройствами, позволяет настроить и выполнить сеанс регистрации данных. Сама среда «не знает» об алгоритмах сбора, ей сообщается лишь местоположение (дескриптор памяти) собранных данных. Конкретные особенности сбора, такие как режимы обмена, базовые адреса, вектора прерываний и т.д., учитываются активизированной динамической библиотекой. Библиотека отвечает за собственное оперативное конфигурирование и в случае необходимости загружает соответствующие диалоги.

Типичными параметрами настройки являются: установки конкретного устройства (прибора), входящего в комплекс – базовый адрес, номер вектора прерывания; режим обмена – механизм взаимодействия с компьютером (по готовности, по прерыванию, по прямому доступу к памяти); режим



синхронизации – способ инициализации процесса сбора; определение предыстории – способ деления данных на «предварительную» и «основную» информацию; уровни согласования – используемые уровни входных (выходных) каналов для связи с внешним устройством; режим дискретизации – тип (внутренний, внешний) и параметры генератора, используемого для задания частоты опроса при сборе данных; режим регистрации – непрерывная или однократная запись по выбранным каналам.

Визуализация данных

Компонента, поддерживающая визуализацию, т.е. представление данных на экране, является встроенной, поскольку необходима для любого режима работы, будь то сбор данных, операции с файлами и таблицами или математическая обработка результатов.

Для визуализации используются окна графического отображения. Одновременно может быть открыто произвольное число таких окон. Стандартно каждое окно предназначено для представления совокупности всех сигналов «обслуживаемых» приборов, как цифровых (логических), так и аналоговых. При этом число видимых или активных в любой момент сигналов настраивается по ситуации. Для сканирования значений сигналов используются перемещаемые маркеры и поля отображения. Сканирование и другие операции могут выполняться как отдельно для группы аналоговых или группы логических сигналов, так и одновременно для обеих. Разумеется, окна могут дублироваться, сохраняться в файлах и т.д.

Просмотр фрагментов данных через «лупу»

Для более детального просмотра данных предлагается механизм обзора выбранного фрагмента в увеличенном масштабе. В окне отображения сигналов отмечаются границы области для подробного просмотра, после чего соответствующей командой выбраный фрагмент отображается в новом окне – «лупе». Движение маркера в этом окне синхронизировано с позицией активного маркера в исходном окне. Количество таких «луп» ограничивается лишь ресурсами компьютера.

Обработка информации

Средства обработки информации можно отнести к компонентам, наиболее наглядно иллюстрирующим принципы его построения, нацеленные, с одной стороны, на достаточную полноту базовых средств, а, с другой – на гибкость и наращиваемость конкретных реализаций.

Средства обработки реализованы в двух формах:

- экспресс обработка – наиболее общая обработка по оперативно набираемым формулам;
- алгоритмическая обработка – специфическая для приложения обработка данных по заранее составленным алгоритмам.

Рассмотрим более подробно каждую.

Экспресс обработка позволяет производить различные расчеты по вводимым пользователем формулам. Это могут быть как отдельные вычисления, так и групповые операции, например над массивами. В качестве аргументов могут выступать первичные (не обработанные) данные, параметры, описывающие условия сбора, константы (числа или их идентификаторы), вычисляемые параметры по уже введенным ранее формулам или по стандартным математическим функциям. Набранные формулы могут быть временными или запоминаться для будущего использования, пополняя библиотеку (базу) экспресс-функций.

Алгоритмическая обработка. Для вычисления параметров по более сложным формулам (алгоритмам) разрабатываются специальные библиотеки, количество которых постоянно наращивается. Кроме того, существуют правила (протоколы), при соблюдении которых подобные библиотеки могут разрабатываться самими пользователями и затем подключаться непосредственно к законченному испытательному комплексу.

Поддержка функционирования таблиц

При отработке концепции построения интегрированных оболочек большое внимание уделялось способам хранения информации. Это связано со спецификой данных, получаемых в приборных системах, не совсем соответствующих форматам традиционных СУБД, предназначенных

в первую очередь для автоматизации административного управления. Нами учитывались два аспекта проблемы:

- статический, связанный со структурой хранения информации на диске;
- динамический, касающийся механизма взаимодействия с таблицами данных.

Структура хранения

Принята следующая базовая схема хранения данных. Различается несколько типов таблиц:

- корневые – таблицы, куда записывается информация об имеющихся таблицах данных и об условиях их получения; для хранения этих таблиц стандартно используется каталог, включенный в основной каталог интегрированной среды; корневых таблиц может быть много;
- тестовые – таблицы, где хранятся собственно данные;
- эталонные – таблицы, хранящие необходимые в некоторых случаях данные, аналогичные тестовым, но которые необходимо считать эталонными, например в случае использования комплекса для диагностики неисправностей;
- форматы – файлы с описанием структуры используемых таблиц.

Предлагаемая схема хранения таблиц является только рекомендуемой, пользователь может придумать свою. Принципиальным является то, что при больших объемах данных, чтобы «не закопаться» в них, структура должна быть! Поэтому мы и предлагаем инструмент для ее поддержки.



Внешний вид системы автоматизации стендовых испытаний на базе комплекса ACTest



Режимы вызова таблиц

Предусмотрены два варианта активизации таблиц данных: используя корневую таблицу и используя непосредственный вызов. Каждая запись в корневой таблице связана с таблицей данных, соответствующей сеансу сбора данных. Для корневой таблицы определены следующие основные операции: активизация записи – создается графическое окно, куда выводятся данные соответствующей таблицы данных; удаление записи – соответствующая таблица данных при этом физически не удаляется; редактирование записи. Непосредственный вызов таблиц осуществляется через стандартные диалоговые панели открытия файлов.

Интегрированная среда сбора, обработки и представления данных АСТест

Описанная выше идеология реализована в разработанном в нашей организации программном комплексе автоматизации экспериментальных и технологических установок АСТест, (получены свидетельства Роспатента). В настоящее время этот комплекс предлагается на рынке как законченный «коробочный» продукт (в версиях АСТест-Lite и АСТест), а также как базовое средство для разработки систем под требования заказчика (в версиях АСТест-Pro и АСТест-VXI). АСТест сегодня имеет развитые средства визуализации данных в масштабе реального времени. Кроме традиционных для систем автоматизации средств визуализации, таких как мнемосхемы с цифровыми элементами, самописцы, табличные элементы, имеются элементы визуализации, реализованные как «виртуальные приборы» (осциллограф, спектроанализатор), предназначенные для представления быстропеременных данных. На базе стандартных устройств сбора данных, используя многофункциональность комплекса АСТест, можно реализовать самые разнообразные испытательные комплексы.

Кроме того, средства визуализации и взаимодействия с пользователем позволяют осуществлять настройку сценариев для выбранного режима автоматизированного испытательного комплекса, хранение и поиск нужного сценария в базе данных, проводить измерения в масштабе реального времени с одновременной архивацией и визуализацией данных, просматривать и анализировать результаты. В масштабе реального времени производится первичная математическая обработка и допусковой контроль значений измеряемых параметров. Вся информация сохраняется в формате базы данных и доступна для их обработки и анализа. В состав комплекса входит ПО вторичной обработки и визуализации результатов измерений. Комплекс может функционировать как на одиночном компьютере, так и с использованием клиент-серверных технологий в рамках распределенной системы.

Комплексная автоматизация и организация сквозной отчетности в рамках корпоративной информационной сети испытательной базы предприятия

Испытательная база предприятия характеризуется: наличием ИС в различных производственных подразделениях; высокой степенью самостоятельности производственных подразделений, ориентированных на решение специализированных задач; требованием по координации деятельности производственных подразделений для обеспечения основных целевых функций деятельности предприятия. Одним из инструментов для стабилизации работы предприятия служит новая концепция автоматизации. Она базируется непосредственно на процессах и технологиях производства основной продукции предприятия, учитывает особенности испытательной базы и предназначена для реализации следующих задач: отслеживания текущего состояния (мониторинга), контроля за выполнением решений на каждой стадии производственного процесса, корректировки ситуации в соответствии с принятым решением, оптимизации производства.

Создана многоцелевая информационная система широкого назначения, которая может охватывать ряд ИС предприятия и объединять их в единую постоянно функционирующую систему. Такая система управления позволяет получать достоверную технологическую информацию о всех стадиях испытания изделия. Первым шагом на пути к созданию многоцелевой информационной системы предприятия является интеграция данных со всех систем автоматизации ИС, которые, как правило, уже имеются в подразделениях предприятия, при этом приобретение их в разные годы на базе разнообразных платформ создает дополнительные сложности по их совместимости. Для контроля и отчетности производства мы предлагаем некоторые решения, опыт внедрения которых на ряде крупных промышленных предприятий показал их высокую эффективность.

Значимость такой системы автоматизации и отчетности обусловлена объективными факторами:

1. Без объективного представления производственных процессов невозможен рост производительности производства.

2. Информационные и организационные барьеры между административными и технологическими уровнями представляют значительное препятствие для дальнейшего развития предприятия. Это разделение приводит к блокированию информации, которая играет важную роль в проведении анализа деятельности предприятия, а также к снижению гибкости и мобильности процессов принятия решений руководством.

3. Рынок автоматизации предлагает множество стандартных открытых программных технологий, необходимых для комплексной интеграции. Без использования этих разработок невозможно решить задачу построения информационнопрозрачного предприятия.

Заключение

Материал, представленный в данной статье, является обобщением опыта практического построения автоматизированных испытательных комплексов, накопленного сотрудниками «Лаборатории автоматизированных систем (АС)» на протяжении ряда лет. В виде распределенного комплекса автоматизации ИС с возможностью объединения их в большую единую систему испытательной базы предприятия продукт создан в 2002 г. и продолжает развиваться. Но отдельные его компоненты разрабатывались ранее и в том или ином виде отработывались на различных системах автоматизации. Описанная методика обработки результатов и процедуры поиска прошли серьезную проверку на стендовых испытаниях изделий ракетно-космической техники, авиационных двигателей и во многих других отраслях промышленности. АСТест и его компоненты, вместе с устройствами сбора цифровых и аналоговых сигналов применяются в настоящее время в 350 организациях и ведомствах.

АСТест строится на базе интегрированных программных оболочек, включающих также устройства измерения. Это – открытая система, которая позволяет: адаптировать уже имеющиеся программные блоки под конкретные, достаточно специфические, требования; благодаря гибкому механизму встраивания новых компонент увеличивать количество динамических библиотек с целью расширения возможностей по сбору данных, их обработке, представлению, хранению и т.д.; непрерывно развивать систему с учетом передовых технологий, распространяя область ее действия, например на глобальные сети с помощью Internet-компоненты. При создании системы разработчики старались «отслеживать» и реализовывать современные технологии и рассматривали ее в качестве некоторой концептуальной модели построения систем автоматизации. Возможно, описанные здесь идеи окажутся полезными не только для нас. □



ООО «Лаборатория автоматизированных систем (АС)»
 Россия, 105122, г. Москва, Щелковское шоссе, д.2а
 Тел./факс: (495) 730-3632
 E-mail: mip@actech.ru
 http://www.actech.ru

**КОМПЛЕКСНАЯ
МОДЕРНИЗАЦИЯ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ
ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Лаборатория
автоматизированных
систем (АС)**



*Время распределять системы,
время собирать системы...*

... от проекта до
внедрения и сопровождения

... от испытания отдельного компонента до
изделия в целом



Мы гордимся тем, что за последние 10 лет уже более 350 предприятий самого разного профиля стали заказчиками наших систем «под ключ». Среди них:



Комплексная поставка систем, монтаж, шефмонтаж, внедрение, обучение, сопровождение, гарантийное (до 10 лет) и послегарантийное обслуживание

Наш адрес:
105122, Москва, Щелковское шоссе, д. 2а
Тел./факс +7 (495) 730-36-32 (многоканальный)

<http://www.actech.ru>
e-mail: office@actech.ru