

Событийное моделирование для задач инжиниринга систем автоматизации

А.А. Амбарцумян (ИПУ РАН), Д.Л. Казанский (ООО "ПЛКСистемы")

Предлагается методика формирования технологического задания на основе трехуровневой событийной модели производства. Показываются возможности использования этих моделей совместно со SCADA-системой для обследования объекта автоматизации и последующей разработки АСУТП.

Введение

Значимость этапа обследования технологического объекта управления (ТОУ) в цикле работ по созданию АСУТП общепризнана. На этом этапе определяется структура и особенности технологии, уточняются границы системы управления, определяется объем автоматизации, технологические алгоритмы и формируется (в общих чертах) концепция управления, что, по сути, и является *технологическим заданием*. Традиционно этот этап выполняется перед формированием технического задания на систему (ТЗ) и фактически без должной инструментальной поддержки.

В практике системных интеграторов используются опросные листы, которые, как правило, отражают опыт и вкусы системных аналитиков, поэтому результаты обследования напрямую зависят от квалификации выполняющего эту работу персонала. Нередки случаи, когда результирующие данные неполны или содержат неточности, что иногда приводит к ложным концепциям в управлении. Известна эффективность использования на фазе обследования формализмов в виде специальных форм [1], заполняя которые разработчик осуществляет логическое моделирование структуры исходных данных и функций их преобразования. Последнее означает, что разработчик уже на фазе обследования ТОУ должен сформулировать функции управления. На этой фазе проекта реально известны требования технологов (как все должно быть) и ограничения на допустимое поведение оборудования и параметры процессов, а из функций управления определены, как правило, требуемые алгоритмы регулирования.

В силу этого необходим инструмент, полезный системному аналитику и дружественный технологу, позволяющий автоматизировать этап обследования и представить логику поведения ТОУ, заданные ограничения и правила ведения процессов прозрачными для заказчика моделями.

Наиболее известными инструментами проектирования и реализации АСУТП в последние 10...15 лет являются SCADA-системы. Но, как правило, они ориентированы на применение в проектных работах, после определения эмпирическим путем структурных решений по функциям управления и техническим средствам.

В настоящей работе предлагается методика обследования ТОУ, основанная на использовании SCADA-системы ClearSCADA (www.controlmicrosystems.com) для формализации результатов обследования. При этом модель собираемых данных основывается на аппарате событийных моделей (СМ) [2, 3], и структура их представления определяется возможностями ClearSCADA.

Событийная модель технологической части автоматизированного производства

Интуитивно понятно, что функциональная структура системы управления должна соответствовать и, в некотором смысле, копировать структуру технологии (на макроуровне). Вместе с тем задачи технологической последовательности операций и задачи управления различаются как по целям, так и по средствам. Тем не менее, достаточно подробные сведения о структуре ТОУ, его свойствах и требуемом поведении являются отправной точкой в проектировании. Таким образом, данные по ТОУ необходимо упорядочить вокруг его структуры, связав с ней характеристики отдельных компонент, их поведение, структуру потоков и требования к их характеристикам, варианты конфигураций потоков (процессы), правила ведения процессов (первичные регламенты). Предлагается использовать для этих целей событийные модели [2, 3].

Трехуровневая событийная модель (*EM – events model*) автоматизированного производства включает:

- модель "технологическая сеть" $TN = \langle A, R \rangle$ – это граф, вершины которого A – модели компонент, а ребра R – модели материалопроводов;
- модель "ТП" $TP_i = \langle G_i, LC_i, LM_i \rangle$ – технологически востребованные конфигурации ($G_i \subseteq TN$ подграф (фрагмент) технологической сети и потоки в ней, с заданными параметрами);
- модель регламентов – активные технологические сценарии.

Каждая из моделей наряду с определением структуры компонента (потоковые и информационные входы/выходы и связи) содержит динамическую составляющую – жизненный цикл, который определяет набор технологически востребованных состояний компоненты, порядок и условия их смены. Собственно состояния компонент и конфигураций и образуют поток событий, который используется для управления. Поскольку поток событий создают введенные конструкции они и названы событийными моделями.

Модель TN такова, что, с одной стороны, реагирует на события – команды сменой состояния агрегатов и генерацией соответствующих событий; с другой – позволяет с помощью специальных процедур, исходя из текущего состояния сети, определить реализуемость того или иного процесса, вычислить требуемое управление на агрегат при его настройке, сформировать обязательное условие целостности процесса. Результаты выполнения указанных процедур фиксируются в листе мониторинга процесса LM_i .

Модель ТП представляет в системе состояния реальных процессов и имитирует их выполнение сме-

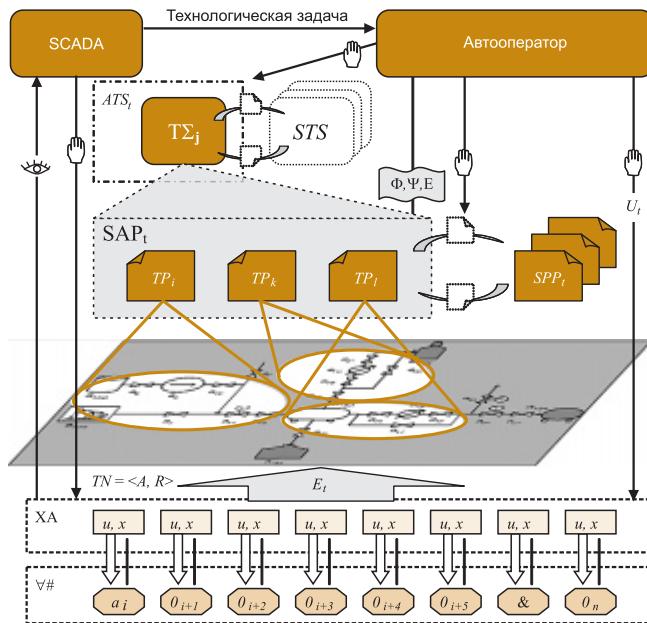


Рис. 1. Схема управления ТОУ в структуре $\langle \text{TOU} \rightarrow \text{система автоматики (CA)} \rightarrow \text{SCADA} \rightarrow \text{CM} \rightarrow \text{АО} \rightarrow \text{человек - оператор} \rangle$

ной состояний LC_i – жизненного цикла модели; задает условия целостности процесса, по которым осуществляется его мониторинг.

Активные технологические сценарии TS – это диаграммы, которые описывают планы достижения конкретных технологических целей в виде совокупности этапов, порядка и условия их выполнения.

В моделях всех трех уровней введена специальная конструкция – *схема диалога* системы управления с оператором, которая активируется в соответствии с логикой LC_i и/или LM_i . Схема диалога $Sh = \langle F, Q, Ans, ans_0 \rangle$ определяет порядок взаимодействия пользователя с системой, описывая форму диалога F , запросы и сообщения пользователю Q , а также возможные варианты реакции оператора по данной схеме Ans, ans_0 .

В рамках предложенных моделей определено их функционирование и управление процессами в структуре ТОУ. Управление производством на основе комплексной событийной модели задается в структуре $\langle \text{TOU} \rightarrow \text{система автоматики} \rightarrow \text{SCADA} \rightarrow \text{CM} \rightarrow \text{автооператор (АО)} \rightarrow \text{человек-оператор} \rangle$ по схеме (рис. 1), основанной на интерпретации фаз технологического сценария и исполнении команд (предусмотренных в фазе) запуска и/или гашения (отмены) ТП.

В конкретный момент времени t имеет место разбиение TP на подмножество активных SAP_t и пассивных SPP_t процессов, аналогично множеству всех сценариев TS разбивается на подмножества ATS_t , активных и пассивных PTS_t . Функционирование СМ определяется в дискретные моменты времени $t = 1, 2, 3, \dots$. В каждый момент времени t в модель поступают U_t , X_t и P_t – состояние (положение) агрегатов и параметры потоков, и имеет место множество событий, $E_t = \{e_k | k=1, \dots, n\}$, поставляемое реальными агрегатами, компонентами системы управления и оперативным

персоналом (здесь, в E_t для краткости включены все события, используемые в модели). Состояние автоматизированного производства в моменты времени t – это совокупность состояния технологической сети и множества активных технологических сценариев: $SAM_t = \langle STN_t, ATS_t \rangle$. Состояние технологической сети в t – это кортеж $STN_t = \langle y_i | i=1, \dots, m \rangle$ состояний всех агрегатов сети, где y_i – состояние, в котором пребывает агрегат a_i в момент времени t .

Функционирование событийной модели производства СМ заключается в преобразованиях на основе E_t потока входных событий активных состояний жизненных циклов соответствующих моделей: $STN_t \rightarrow E_t \rightarrow STN_{t+1}$; $SAP_t \rightarrow E_t \rightarrow SAP_{t+1}$; $SPP_t \rightarrow E_t \rightarrow SPP_{t+1}$; $ATS_t \rightarrow E_t \rightarrow ATS_{t+1}$; $PTS_t \rightarrow E_t \rightarrow PTS_{t+1}$ в новые состояния и события и формировании по результатам $E_t \rightarrow STN_t \rightarrow SAP_t \rightarrow SPP_t \rightarrow ATS_t \rightarrow PTS_t \rightarrow E_{t+1}$ нового кортежа событий E_{t+1} . Эти преобразования выполняются циклически, на основе потока событий E_0, E_1, E_2, \dots , по правилам преобразования функций переходов и выходов конечного автомата. Таким образом, функционирование событийной модели структуры и процессов СМ со стороны наблюдателя – это: поток событий $E_0, E_1, E_2, \dots, E_t \rightarrow \infty$, последовательности $SAT_0, SAT_1, \dots, SAT_t$ множеств активных процессов, множеств $STN_0, STN_1, \dots, STN_t$ состояний агрегатов сети и множеств активных сценариев $ATS_0, ATS_1, \dots, ATS_t$, обеспечивающая достижение технологической цели.

Формализация представления структуры ТОУ и динамики ее преобразования в виде описанных событийных моделей позволило разработать механизмы управления процессами как потоком технологических работ. Поскольку эти механизмы, по сути, заменяют (имитируют работу) оператора при управлении конфигурацией ТОУ для простоты изложения будем считать, что они реализуются автооператором (АО). Собственно приведенные выше отображения и определяют схему управления на основе СМ. При этом управляющие воздействия на ТОУ и запросы на выполнение схемы диалога (взаимодействия с оперативным персоналом) определяются по результатам вычисления соответствующих функций выходов жизненных циклов. Поскольку вид графов СМ не зависит от конкретного ТОУ, а меняется только размерность и взвешивание вершин и ребер, то схему управления удалось построить как совокупность процедур обработки графов (жизненных циклов агрегатов, процессов и графов сценариев) и формирования по их результатам команд управления или запросов диалогов с персоналом. Эти процедуры и включаются в АО.

В зависимости от реальной ситуации в ТОУ оператор выбирает нужную стратегию ведения ТП, что соответствует активизации конкретного активного сценария (на рис. 1 это представлено переводом TS из подмножества пассивных PTS_t в подмножество активных ATS_t) и интерпретации АО его шагов. На каждом шаге инициируются или гасятся (отменяются) конкретные ТП. При запуске конкретного ТП АО в

событийной модели ТОУ активизирует экземпляр объекта модели процесса, который является моделью реального ТП (на рис.1 перевод *TP* из подмножества пассивных *SPP*, в подмножество активных *SAP*). Атрибуты модели ТП: структура, состояния жизненного цикла, параметры потока, состояния функций защит и автоматического регулирования; отражают все, что происходит в реальном ТП во всех фазах его жизненного цикла (проверка реализуемости, запуск, работа в заданном режиме, гашение и т. д.).

Активизация реального процесса осуществляется путем пошаговой настройки всех его агрегатов на состояния, определенные в модели ТП и формируемым в соответствии с *отклонением текущего состояния технологической сети от требований ТП*. Процедуры настройки агрегатов по данным анализа технологической сети выполняются АО. Поведение АО определено так, что вся функциональность АСУТП направлена на обслуживание запросов моделей ТП, то есть на обеспечение выполнения динамики их жизненных циклов. Процессы, в свою очередь, выстроены вокруг материальных потоков и призваны обеспечить их функционирование в соответствии с тактическими целями производства. При этом в схеме комплексного управления процессами в АСУТП постоянно выполняется следующая циклическая процедура:

1. Работает система автоматики нижнего уровня (СА): структура потоков определена активными процессами; потоки функционируют под управлением регуляторов, защит и блокировок. Формируется множество актуальных событий;

2. Вычисляется состояние событийной модели технологической сети; анализируются состояния активных и пассивных сценариев и процессов, если коррекции множеств активных и пассивных процессов не требуется то осуществляется переход к п. 1, иначе – к п.3;

3. Определяется тип коррекции, *вычисляется отклонение текущего состояния структуры от требуемого*. Если ситуация содержит отклонение, то оператор выбирает новый сценарий или один из возможных типов коррекции состояния технологической сети. Затем выполняется один из вариантов: запуск/гашение независимого процесса; запуск/гашение присоединенного процесса; реконфигурирование активного процесса; обновляются множества активных и пассивных процессов; цикл повторяется с п.1.

Заметим, что при управлении конфигурациями целью управления является формирование конкретной структуры (или фрагмента структуры ТОУ), следовательно, описание требуемой структуры и есть задание цели. Содержание цели – определение фрагмента структуры, требуемых состояний компонент, параметров потоков и настроек для автоматических управляющих процедур (защит, блокировок, регуляторов и т.п.), действующих над компонентами, если они специфицированы для данной цели. Поэтому такое управление является комплексным.

Разработанные модели опробованы в ряде проектов систем автоматизации. Кратко изложим опыт их применения в сочетании с ClearSCADA в проекте системы управления установкой подготовки воды для теплового пункта Москва-Сити на этапе обследования и формирования технических требований от технологов.

Формирование технологического задания на автоматизацию ТОУ средствами ClearSCADA

На основе событийной модели нами определена модель собираемых данных о ТОУ и структура их представления в ClearSCADA. В качестве базового элемента структуры выбраны технологические схемы, что позволяет естественным и прозрачным для заказчика способом структурировать большой объем данных по параметрам и исполнительным механизмам, характерный для поточных технологий. При разработке технологических схем используется опыт системных аналитиков, представленный в виде технологических библиотек оборудования (рис. 2). Дальнейшее изложение методики проведем на конкретном примере разработки системы управления установки очистки воды.

Приведем краткое описание ТОУ – установки очистки воды. Технология очистки воды заключается в отделении от поступающей из водопровода воды солей, хлора и посторонних включений. Конструктивно объекты обработки воды строятся на базе технологических установок селективного отбора фракций, организуя три ступени сепарации. На первой происходит отделение хлора, на второй – отделение солей, на третьей – окончательная очистка воды от посторонних примесей. Для первичного отделения хлора используется автоматический угольный фильтр, снижающий содержание хлора в воде с максимумом в 0,5 до 0 частей на милли. Для деминерализации воды (отделения солей) используется установка обратного осмоса, где применяется метод пропускания воды через фильтрующую мембрану. Финальную



Рис. 2. Библиотека технологического оборудования

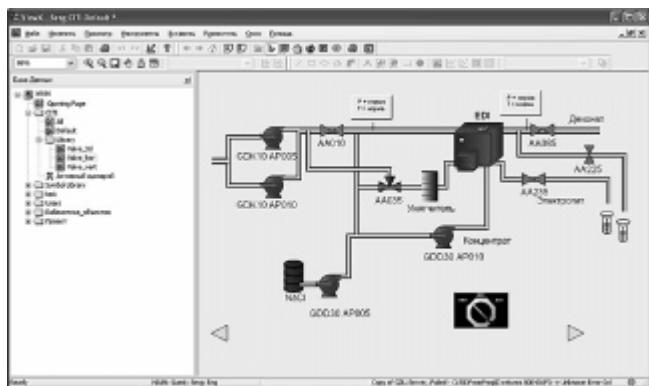


Рис. 3. Технологическая схема ТОУ в ClearSCADA

очистку воды от посторонних примесей выполняет установка очистки воды методом ионизации непрерывным электродом (сокращенно ЭДИ). Установка ионизации непрерывным электродом удаляет ионы из воды с помощью ионообменной смолы.

Важным решением при разработке методики обследования с использованием СМ и ClearSCADA является выбор средств описания поведения ТОУ. Жизненные циклы (ЖЦ) агрегатов и ТП совместно с активными сценариями из СМ моделируют логику поведения ТОУ. В описанной методике предлагается давать подобные модели, используя: диаграммы для представления листов мониторинга (LD), Sequential Function charts для представления ЖЦ и активных сценариев, специальные табличные формы для представления структуры процессов. При этом сформированные совместно с заказчиком (технологом) данные на фазе обследования ТОУ далее используются непосредственно в проекте АСУТП.

Описание ТОУ начинается с формирования в ClearSCADA технологических схем (рис. 3).

После формирования технологической схемы определяется массив точек контроля и управления, и осуществляется привязка элементов на технологических схемах к соответствующим точкам. Дальнейшее состояние ТОУ можно наблюдать на технологической схеме в ClearSCADA, а также управлять ходом выполнения ТП.

Следующим шагом описания ТОУ будет формализация сведений от технологов по правилам формирования структуры потоков и ведения процессов (технологическим алгоритмам), основным режимам работы ТОУ и содержанию требований к регламенту.

Ниже перечисляются определенные технологами все возможные и востребованные процессы и режимы в рассматриваемом ТОУ – установке по очистке воды.

Таблица. Технологические режимы установки

Режим	10	85	225	AP10	EDI	GDD10 AP5	GDD30 AP005 GDD10 AP005	дозир. насосы
Automat	откр.(2)	откр. (5)	откр.(1) закр.(5), 2с.	откр.(3)	вкл.(4)	вкл.(2)		
Stop	выкл.(5)	выкл.(2), 3с.	вкл.(1) выкл.(7)		выкл.(3)	выкл.(4), 3 с.	выкл.(6)	выкл.(8)
Bad quality		закр.(2)	откр.(1)					
Manual	Ручное управление							

Режим Инициализация_останов (Stop) (полной остановки) – все задвижки закрываются и насосы останавливаются. Используется при инициализации или для полного отключения установки, например в случае необходимости химической промывки.

Режим Готовности (StandBy) к работе используется как промежуточный этап при переключении в режим автоматического управления.

Режим Регенерации используется для регенерации умягчителя.

Ручной Режим (Manual) – для ручного управления агрегатами. В основном используется после химической очистки и обслуживания.

Автоматический режим (Automat) – основной режим работы установки.

Описание каждого режима в отдельности представляет собой последовательное изменение конфигурации технологической сети в терминах СМ (таблица). В строках таблицы описываются технологические режимы, в столбцах указаны команды, подающиеся на соответствующие агрегаты, и их последовательность. Например, запись "Закр.(3)" означает, что соответствующий агрегат закрывается на третьем шаге технологического режима.

После установки режима Automat в технологической сети выполняется поток очистки воды до тех пор, пока условие $cq015 < 2$ истинно. Когда проводимость воды превышает 2 ед., выполняется режим Bad quality. Если в течение уставки по времени проводимость воды не уменьшилась до нормы, осуществляется переход в режим останова.

Логика работы ТОУ, определяемая регламентом, реализуется в ClearSCADA с помощью инструмента "секвенциальных функциональных диаграмм". С помощью этого инструмента описывается ввод в работу, последовательность и условия выполнения режимов (рис. 4).

Благодаря широким возможностям среды проектирования систем в ClearSCADA имеется возможность уже на этапе обследования при сборе исходных данных об объекте автоматизации фиксировать их в проекте. Это позволяет вести параллельную работу по формированию наполнения технического задания на систему и созданию проекта интерфейса оператора; и даже одновременно подготавливать по шаблону информацию для включения в проектную документацию.

Информация по измеряемым и контролируемым параметрам собирается в таблицу, по которой формируется перечень сигналов ввода/вывода и затем привязка точек контроля и управления в проекте ClearSCADA. Сформированный перечень сигналов ввода/вывода служит исходной и достаточно подго-

товленной информацией для публикации соответствующей проектной документации.

Информация по технологической структуре объекта автоматизации фиксируется в виде технологической схемы на графических формах. Структура технологической сети, зафиксированная на графических формах, уже непосредственно используется в операторском интерфейсе. Внесение и привязка к ней точек контроля и управления автоматически формирует схему автоматизации.

Для каждой точки ввода/вывода выполняется настройка аварийных и предупредительных пределов значения параметра, настраивается действие по реакции на выход значения за пределы. Каждая такая операция выполняется в соответствии с внесенной в шаблон информацией на этапе обследования. Заполненный шаблон экспортируется в раздел математического обеспечения проектной документации, где по его данным генерируются стандартные алгоритмы защит, блокировок, сигнализации и т.д. Для формирования алгоритмов управления и арифметических расчетов ClearSCADA имеет удобные средства, представленные всеми языками стандарта IEC 161131-3. Благодаря этому имеется возможность экспорта сформированных алгоритмов в программу контроллера.

В рассмотренном примере видно, как по ходу проведения обследования и сбора данных информация фиксировалась различными инструментами в ClearSCADA, параллельно формировались технологическая схема и схема автоматизации, перечень сигналов ввода/вывода, алгоритмы управления и вычислительные процедуры. В результате выполненной работы была создана база по функциональной структуре системы управления и подготовлены материалы для создания проектной документации. Далее, используя заранее созданные инструменты экспорта, средствами ClearSCADA выполняется автоматизированная генерация части проектной документации.

Предложенная методика выполнения первичных этапов инжиниринга АСУТП с использованием событийных моделей и ClearSCADA повышает уровень достоверности технологического задания, позволяет на первых этапах проектирования получить от технологов точное изложение (на уровне событийных моделей) их виденья ТОУ, процессов, регламентов, требуемого опе-

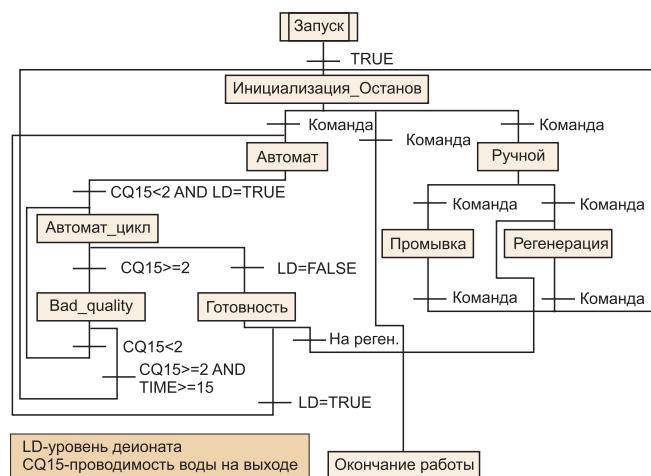


Рис. 4. Логика работы ТОУ
в форме секвенциальных диаграмм

раторского интерфейса и определение функций оперативного персонала в форме схем диалога. Диалоги соответствуют уровням принятия решений и позволяют адресовать запросы по полномочиям. Распределение функций управления между персоналом под руководством активных сценариев позволяет повысить эффективность управления и безопасность ведения процессов за счет ограничения человека в контуре управления в рамках только тех действий, которые от него ожидаются в конкретной ситуации.

Резюмируя, отметим, что попытки получить более-менее содержательную модель ТОУ, шаг за шагом строя ее в среде ClearSCADA, будут успешными при наличии развитой объектной библиотеки, предметный разговор о которой придется отложить до следующих публикаций.

Список литературы

1. *David A. Marca, Clement L. McGowan* (1988) In: SADT: Structured Analysis and Design Technique. McGraw-Hill.
2. Амбарцумян А.А., Казанский Д.Л. Управление технологическими процессами на основе событийной модели. Ч I и II // АиТ. 2001. № 10,11.
3. Амбарцумян А.А., Браништов С.А. Событийные модели управления технологическими процессами ориентированные на защиту от ошибочных действий персонала. М.: ООО "Гринвич", 2006.

Амбарцумян Александр Артемович – д-р техн. наук, зав. лабораторией ИПУ РАН,
Казанский Дмитрий Леонидович – канд. техн. наук, зам. ген. директора ООО "ПЛКСистемы".

Контактные телефоны/факсы: (495) 105-77-98, 789-83-45. E-mail: info@plcsystems.ru [Http://www.plcsystems.ru](http://www.plcsystems.ru)

20-22 ноября 2007 г., Москва, МВЦ "Крокус Экспо", пав. 2

Международная специализированная выставка приборов и

оборудования для научных исследований "SIMEXPO – Научное приборостроение – 2007"

Разделы выставки:

- измерительные, испытательные, лабораторные приборы, оборудование и системы для научных исследований;
- средства автоматизации и интерпретации научных результатов;
- компоненты и материалы для производства приборов, оборудования и систем.

В рамках выставки пройдут тематические семинары, заседания круглых столов, презентации. Будут организованы консультационные центры, а также конференция для специалистов отрасли.

Контактные телефоны: (495) 135-12-47, 135-12-46. [Http://www.simexpo.ru](http://www.simexpo.ru)