

УДК 004.4'2

Дата подачи статьи: 16.11.15

DOI: 10.15827/0236-235X.115.136-141

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «АСТ» ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРЕНАЖЕРОВ

П.Ю. Вильвер, программист, wilwer@icc.ru;

А.Ю. Юрин, к.т.н., доцент, j80@yandex.ru

*(Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН,
ул. Лермонтова, 134, г. Иркутск, 664033, Россия)*

В статье описан специализированный программный комплекс «АСТ» (Автоматизированное создание тренажеров) для создания компьютерных тренажеров с функциями поддержки принятия решений. Он основан на использовании формализма цветных сетей Петри для моделирования технических систем.

Комплекс обеспечивает следующее: создание иерархической статической модели технических систем в виде мнемосхем, схем и чертежей при помощи как встроенного графического редактора, так и системы автоматизированного проектирования AutoCad; создание динамической модели технических систем в виде сети Петри; визуальное моделирование статических и динамических свойств технических систем в результате взаимодействия (или имитации взаимодействия) с ОРС-сервером; прогнозирование параметров технических систем и построение деревьев событий.

Приведено описание функций программного инструментального комплекса, его архитектуры и методики создания тренажерных комплексов. Рассмотрены примеры применения комплекса для создания программных тренажеров по обучению специалистов послеремонтного испытания компрессоров и контроля ректизол-процесса при производстве сжиженного природного газа.

Ключевые слова: цветные сети Петри, программный тренажер, автоматизированное создание, тепломеханические, химико-технологические установки, ОРС-сервер, обучение.

Одной из причин нарушения безопасной эксплуатации технологических установок и оборудования предприятий и потерь от простоя и аварий являются ошибки персонала, управляющего технологическим процессом. Аварии приводят к гибели людей, нарушению технологических регламентов, загрязнению окружающей среды. В связи с этим необходимо постоянно поддерживать и повышать уровень подготовки операторов, для чего применяются либо сложные системы тестов и экзаменов, либо аппаратно-программные тренажеры. Представляется, что применение тренажеров является более эффективным методом обучения, способствующим выработке и закреплению моторных навыков при работе со SCADA-системами и АСУ технологическим процессом.

В настоящий момент на рынке тренажеров много предложений готовых решений для различных задач, например [1]. Однако большинство из них при довольно высокой стоимости (так, цена статического тренажера автомобильного крана – 750 000 руб.) требуют доработки и не учитывают специфику решаемых задач, например, в области тепломеханических, химико-технологических установок. Поэтому целесообразно сотрудникам предприятий самим создавать тренажеры, что трудновыполнимо из-за отсутствия предложений программных систем для создания тренажерных комплексов, так как разработчики тренажеров не распространяют используемый инструментарий (за исключением научных разработок), и отсутствия на предприятиях квалифицированных специалистов, имеющих знания и практические навыки в области моделирования, программирования, надежности и технологических процессов.

Таким образом, актуальна разработка инструментальных программных систем, обеспечивающих создание тренажерных комплексов непрограммирующими пользователями и включающих подсистемы моделирования технологических процессов, в частности, для тепломеханических, химико-технологических установок.

Программный комплекс «АСТ»

Функции и назначение. Для обеспечения сотрудников предприятий возможностью самостоятельно создавать тренажеры для персонала тепломеханических, химико-технологических установок был разработан специализированный программный комплекс (СПК).

Особенностью СПК является использование обобщенной модели *технической системы* (ТС) [2], являющейся основой для описания моделируемых установок с помощью модифицированных цветных сетей Петри [3]. Реализованная модификация сетей Петри позволяет создавать иерархические модели, получать в качестве атрибутов меток данные с ОРС-сервера и прогнозировать состояния моделируемой ТС [4].

Основные функции СПК:

- возможность создания моделей сложных ТС непрограммирующим пользователем, ограниченная только вычислительной мощностью используемых компьютеров, так как применяемый для описания модели язык цветных сетей Петри с приоритетами равен по мощности машинам Тьюринга [5, 6];
- визуальное моделирование технологического процесса как в форме сетевого представле-

ния в виде цветных сетей Петри, так и в форме мнемосхем;

- прогнозирование значений параметров технологического процесса на основе статистического прогнозирования, методов последовательных уступок и взвешивания критериев [7–9];

- поддержка оператора при принятии решений путем информационной и цветовой индикации отклонения значений параметров технологического процесса от допустимых.

Архитектура СПК, реализующая данные функции, представлена на рисунке 1.

Рассмотрим основные модули и их назначение.

Подсистема создания модели обеспечивает создание статической и динамической моделей ТС. Для создания статической модели, представляющей собой статическую схему (мнемосхему или чертеж), может быть применен как встроенный графический редактор, так и внешний, например AutoCad. В частности, использование объектной модели AutoCad обеспечивает доступ ко всем элементам как чертежа, так и самой оболочки AutoCad, что позволяет использовать уже готовые чертежи и схемы. Динамическая модель создается с помощью редактора сетей Петри, обеспечивающего наложение вершин и переходов на статическую модель, а также задание источника данных для модели (внешний OPC-сервер или его имитация).

БД моделей обеспечивает хранение и повторное использование разработанных ранее моделей. В состав каждой модели входят сетевая модель ТС на языке сетей Петри (динамическая модель ТС), графические схемы элементов ТС (статическая модель), список подключаемых к сетевой модели параметров OPC-сервера (или имитатора данных), последние значения параметров ТС (количество определяется настройками модели, от 1 до 1000).

Также БД содержит стандартизированные согласно ГОСТ 21.101-2013 и ГОСТ 27833-88 изображения элементов ТС, используемые для создания графических схем.

Подсистема имитационного моделирования обеспечивает интерпретацию модели с учетом данных от OPC-сервера. При получении данных от OPC-сервера интерпретатор модифицированной сети Петри обеспечивает перемещение меток и вычисление их параметров, а также производит «вызывание» меток модели и параметров OPC-клиента, определение выполнения условий перехода меток и вычисление атрибутов меток в соответствии с функциями, определенными в сетевой модели ТС.

Библиотека математических модулей содержит алгоритмы для работы с матрицами, метод наименьших объемов и др.

Модуль визуализации результатов моделирования обеспечивает обновление мнемосхемы в соответствии с изменением состояния модели, а также построение графиков изменения параметров.

Модуль поддержки принятия решений обеспечивает построение *деревьев сценариев* (ДС), *частичных деревьев отказов* (ДО), *деревьев достижимых маркировок* (ДДМ) и экспертную оценку сценариев по уровню безопасности [8].

Построение ДС и ДДМ может автоматически производиться при выходе параметра за допустимые пределы.

Модуль имитации OPC-сервера является источником данных для модели, обеспечивающим генерацию набора аналоговых и дискретных сигналов от датчиков оборудования.

OPC-сервер – реальный источник данных, при реализации OPC-клиента для этого сервера в СПК использовались контроллеры NL. Синхронизация состояния модели осуществляется только в соответствии с параметрами датчиков

и контроллеров, время в модели не используется. OPC-клиент СПК может получать данные с нескольких OPC-серверов.

Модуль прогнозирования обеспечивает использование статистических методов (взвешивания критериев и метод уступок) и нейронной сети для прогнозирования состояния модели ТС.

Методика создания компьютерного тренажера на основе СПК представляет собой следующую последовательность шагов.

1. Создание статической модели ТС с помощью графического редактора

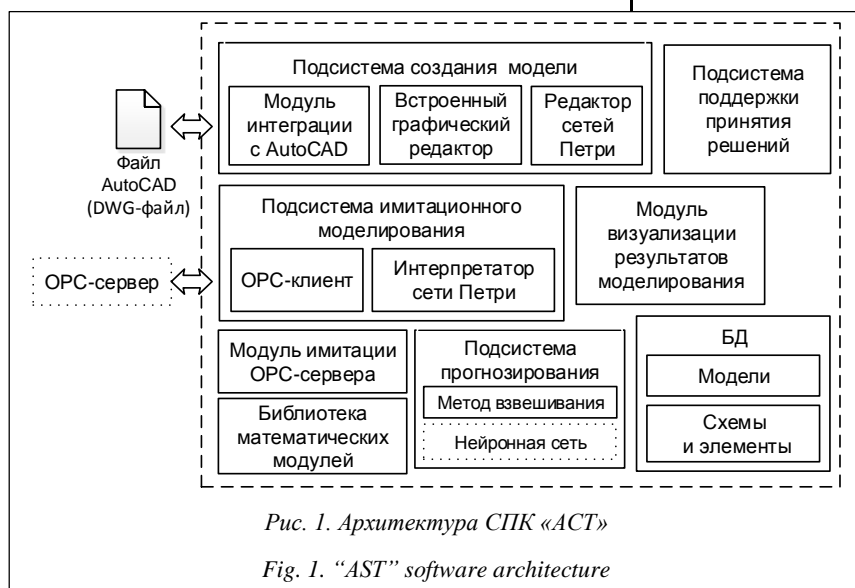


Рис. 1. Архитектура СПК «АСТ»

Fig. 1. "AST" software architecture

ческого средства моделирования (AutoCad или встроенного графического редактора) в форме схемы, обеспечивающей наглядное отображение структуры системы.

- Модель отражает объекты P_k , события T_j и параметры A_i системы, где k – количество объектов, j – количество событий, i – количество параметров:

- объекты ТС имеют параметры, соответствующие значениям атрибутов A_i метки m_n , находящейся в позиции P_k ; n определяет число меток, принадлежащих (находящихся в) позиции P_k , значения которых могут изменяться с течением времени в зависимости от данных, получаемых от ОРС-сервера (при отсутствии ОРС-сервера используется модуль генерации данных);

- событие T_j происходит при выполнении условий на переход меток m_n между объектами P_k ;

- значения параметров объектов ТС поступают с первичных приборов или контроллеров на ОРС-сервер и затем могут быть использованы в модели как значения атрибутов A_i меток m_n ;

- события происходят или не происходят в соответствии с условиями дуг I , O , которые определены в модели выражениями входных и выходных дуг перехода T_j ;

- все события в модели происходят в соответствии с порядком функционирования вложенных сетей NF .

- Модель ТС является иерархической; количество уровней зависит от сложности ТС и поставленной задачи. Разделение ТС на объекты доста-

точно условно и зависит от постановки задачи, например, при анализе технологической линии ее объектами могут считаться отдельные установки и станки, транспортные и загрузочные устройства. В свою очередь, станки и загрузочные устройства также могут считаться ТС и при оценке их надежности должны быть разделены на элементы – узлы, блоки, которые, в свою очередь – на детали и т.д.

2. На основе статической модели создается динамическая модель в форме сети Петри, описывающая процесс функционирования ТС (рис. 2):

- задается начальное состояние системы;

- задаются интервалы номинальных, допустимых и недопустимых значений параметров;

- задаются функции, определяющие значения атрибутов A_i меток;

- выполняются активные переходы T_j .

3. Настраивается (задается) ОРС-сервер или имитирующий его модуль.

Успешное завершение данных шагов позволяет получить тренажер, процесс функционирования которого представляет собой взаимодействие динамической модели (представленной в виде сети Петри) и ОРС-сервера, в ходе которого выполняются следующие действия.

1. Обмен данными атрибутов меток и ОРС-сервера во время выполнения переходов. Предыдущие значения атрибутов A_i сохраняются, количество сохраненных значений определяется настройками модели.

2. Перерасчет значений атрибутов меток.

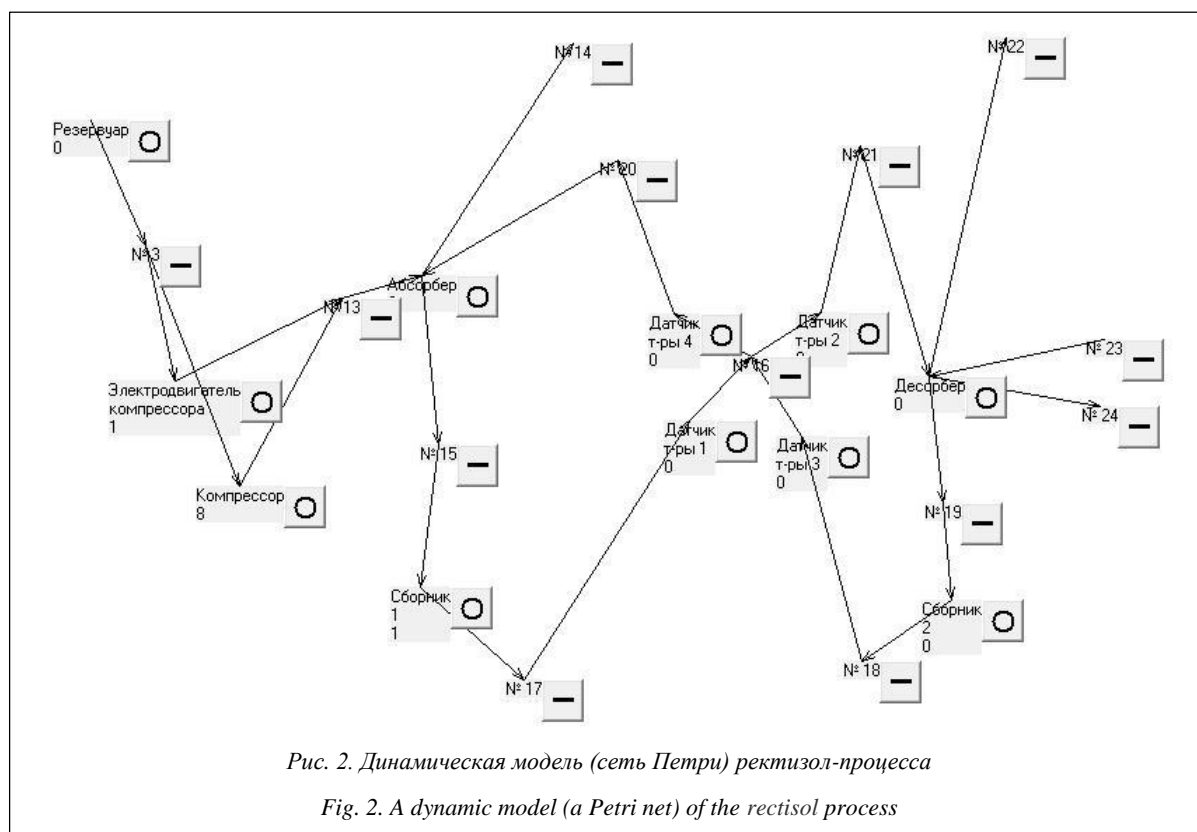


Рис. 2. Динамическая модель (сеть Петри) ректизол-процесса

Fig. 2. A dynamic model (a Petri net) of the rectisol process

3. Прогноз значений атрибута меток (то есть появляется информация о будущих событиях в модели).

4. При выходе значения параметра A_i объекта P_k ТС за допустимые или регламентируемые границы Z_{Ai}^{Pk} определение последовательности произошедших событий:

- определяются наименования и значения параметров ТС, изменение которых влияет на значение атрибута A_i метки m_n элемента модели ТС;
- определяются значения параметров объектов модели ТС, достижимые из заданного состояния; выбирается нужное состояние модели;
- определяется последовательность событий, приводящих модель ТС в это состояние.

5. При нарушении регламентируемой последовательности событий определение:

- условия, необходимого, но не выполненного для возникновения события;
- условий возникновения нерегламентируемого события;
- параметров объектов системы, значения которых влияют на выполнение данного условия.

Обучение и контроль знаний оператора на компьютерных тренажерах заключаются в изучении структурных связей между объектами ТС, действующими в технологическом процессе (например, при передаче вращающего момента, жидкости) с последующей выработкой навыков поведения в аварийных ситуациях. Применение компьютерного тренажера, обеспечивающего прогнозирование значений параметров объектов ТС и определение причин инцидентов (и аварийных ситуаций), повышает эффективность обучения за счет оперативного обнаружения ошибок управле-

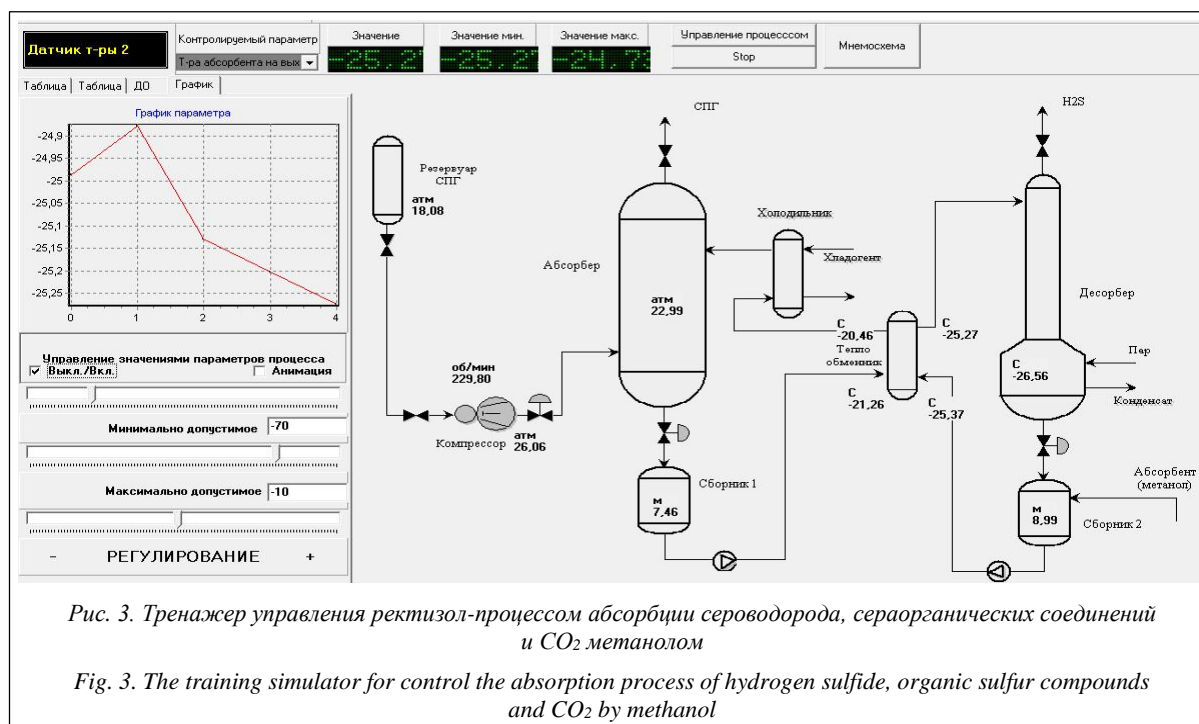
ния. Использование аварийных сценариев при работе на тренажере позволяет обучаемому персоналу получить навыки устранения подобных событий. Принудительное задание аварийных значений параметров может быть произведено как при составлении исходного задания оператору, так и во время работы тренажера. При составлении задания также могут быть определены условия возникновения аварийной ситуации – аварийное отключение, разгерметизация и т.д. Оценка действий оператора задается при настройке СПК и определяется тем, какой именно параметр и насколько не соответствует регламентируемым значениям.

Программная реализация СПК осуществлена в среде Borland Delphi.

Примеры применения СПК

С помощью описанной методики были созданы учебные тренажерные комплексы с модулем поддержки принятия решений для контроля ректизол-процесса при производстве сжиженного природного газа, а также послеремонтного испытания компрессоров и лазерного измерительного комплекса.

Ректизол-процесс – абсорбция сероводорода, сераорганических соединений и CO_2 метанолом при низких температурах и повышенных давлениях; является частью технологического процесса при производстве сжиженного природного газа и применяется для очистки природного газа от H_2S и CO_2 . Технологическая схема включает две ступени: газ при давлении 20–25 атм. и температуре -35°C поступает в абсорбер, орошаемый увлажненным холодным метанолом, и десорбер H_2S .



На рисунке 3 приведен пример экрана программного тренажера оператора ректизол-процесса.

Основные функции тренажера:

- управление компрессором, расходом сжиженного природного газа, температурой в абсорбере и десорбере, уровнем метанола в сборниках;
- построение графиков значений параметров процесса;
- вычисление значений параметров модели в соответствии с управлением оператора;
- контроль допустимых эксплуатационных параметров оборудования;
- создание отчетов о технологическом процессе и действиях оператора.

На рисунке 2 приведена структура сети Петри для моделирования ректизол-процесса, узлы сети соответствуют основным элементам мнемосхемы.

Тренажер для автоматизированного испытания компрессоров разрабатывался для Ростовского вагоноремонтного завода. Основные функции тренажера:

- вычисление значений параметров модели в соответствии с управлением оператора;
- мониторинг испытаний;
- автоматическая оценка действий обучаемого персонала на основе определенных критериев;
- построение графиков значений параметров процесса;
- управление испытаниями;
- контроль допустимых эксплуатационных параметров оборудования;
- создание отчетов о проведенных испытаниях.

На рисунке 4 приведен пример экрана программного тренажера для автоматизированного испытания компрессоров: пример мнемосхемы со значениями приборов при моделировании процесса, график выбранного параметра (давление) значения, а также информация об операторе и дополнительные параметры испытания.

В заключение отметим, что обучение ответственным технологическим операциям до того, как обучаемый оператор столкнется с ними на практике, способствует сохранению оборудования

от возможных последствий ошибок персонала и повышает качество выполняемых работ. Одним из способов обучения является использование программно-аппаратных тренажерных комплексов, обеспечивающих выработку зрительно-моторных навыков при работе на оборудовании.

При общей высокой стоимости готовых тренажерных комплексов перспективны разработка и применение специальных инструментальных средств, позволяющих специалистам предприятий самостоятельно создавать программные тренажеры с учетом специфики производственных процессов.

СПК «АСТ» позволяет использовать формализм цветных сетей Петри для моделирования ТС и обеспечивает следующее: создание статической модели ТС в виде мнемосхем, схем и чертежей; создание динамической модели ТС в виде сети Петри, совмещаемой со схемами; имитацию взаимодействия или реальное использование OPC-серверов; прогнозирование параметров ТС и построение деревьев событий. СПК «АСТ» апробирован при создании тренажеров для контроля ректизол-процесса при производстве сжиженного природного газа и послеремонтного испытания компрессоров и лазерного измерительного комплекса.

Использование СПК «АСТ» и создаваемых с его помощью тренажеров позволяет повысить уровень подготовки персонала, а значит, надежность и безопасность технологических процессов.

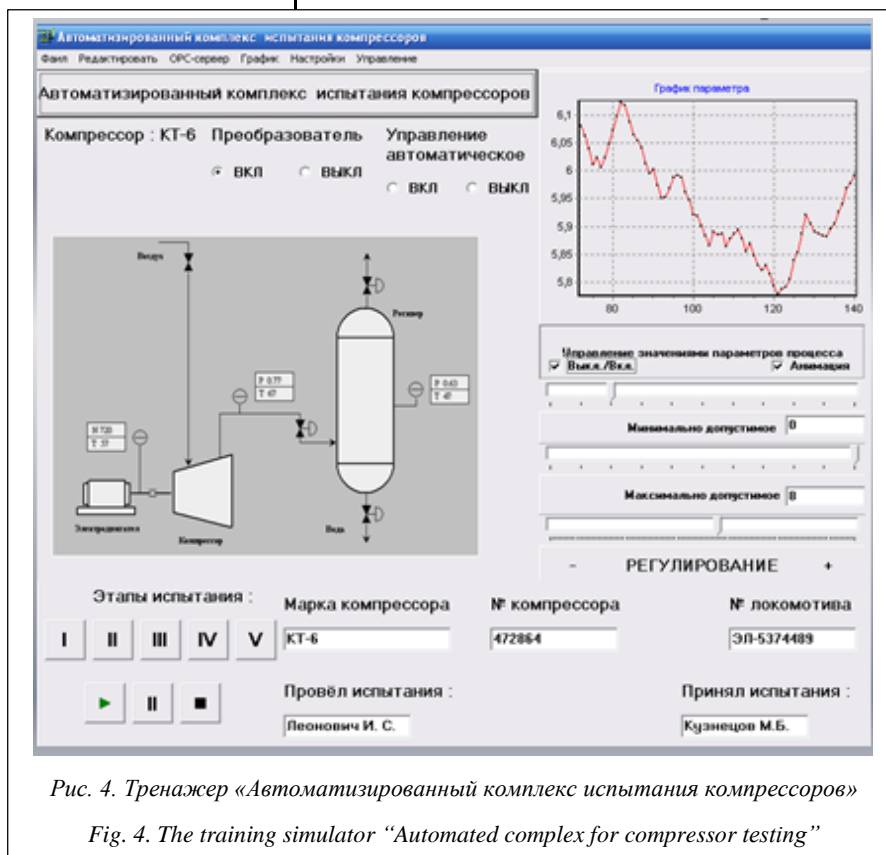


Рис. 4. Тренажер «Автоматизированный комплекс испытания компрессоров»

Fig. 4. The training simulator "Automated complex for compressor testing"

Литература

1. Компания SIKE. Системный интегратор, разработчик информационных и обучающих систем. URL: <http://sike.ru/articles/kompyuternyy-trenazher-sike-vyiplovka-stali-v-konvertire/> (дата обращения: 01.11.2015).
2. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Вильвер П.Ю. Моделирование функционирования сложных технологических комплексов на основе модифицированной сети Петри // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. № 4. С. 23–29.
3. Дубинин В.Н., Зинкин С.А. Проектирование вычислительных систем и сетей на основе сетевых формализмов. Кн. 1: Сетевые технологии проектирования и реализации распределенных вычислительных систем на программно-аппаратных платформах локальных и глобальных сетей Ethernet/Internet. Пенза: Изд-во ПГУ, 1998. 322 с.
4. Вильвер П.Ю., Протасов А.В. Имитационное моделирование сложных динамических систем с использованием сетей Петри // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 7. С. 35–39.
5. Jensen K. Colored Petri nets – basic concepts, analysis methods and practical use. Springer-Verlag, 1997, vol. 1–3, 673 p.
6. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984. 160 с.
7. Подиновский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Сов. радио, 1975. 192 с.
8. Орлов А.И. Теория принятия решений: учеб. пособие. М.: Март, 2004. 656 с.
9. Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю. Алгоритм коллективного выбора на основе обобщенных ранжировок для поддержки принятия решений // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. № 3. С. 57–62.

DOI: 10.15827/0236-235X.115.136-141

Received 16.11.15

“AST” SOFTWARE SUITE FOR CREATING TRAINING SIMULATORS¹Wilwer P.Yu., Programmer, wilwer@icc.ru¹Yurin A.Yu., Ph.D. (Engineering), Associate Professor¹Institute of System Dynamics and Control Theory SB RAS, Lermontov St. 134, Irkutsk, 664033, Russian Federation

Abstract. The paper describes the “AST” software (Automated creation of training simulators) designed for creation of computer training simulators with the decision support functions. The software is based on the colored Petri nets formalism that is used for modeling technical systems (TS).

The software provides the following: creation of a hierarchical static model of technical systems in the form of mnemonic diagrams and drawings using a built-in graphic editor or AutoCad; creation of a dynamic model of technical systems in the form of a Petri net; visual modeling (simulation) of static and dynamic properties of technical systems as a result of interaction (or interaction simulation) with an OPC-Server; forecasting parameters of technical systems and building event trees.

The paper describes the software functions, its architecture and methodology of creating simulator complexes. There are examples of application of the developed software for creating complex software simulators for training specialists of post-repairing testing of compressors and rektizol-process control when producing liquefied natural gas.

Keywords: colored Petri nets, software training simulator, computer-aided, heat mechanical, chemical and technological systems, OPC-server, training.

References

1. SIKE Company. The system integrator, developer of information and systems. Available at: <http://sike.ru/articles/kompyuternyy-trenazher-sike-vyiplovka-stali-v-konvertire/> (accessed November 3, 2015).
2. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Vilver P.Yu. Modeling of complex technological system (complex) functioning on the basis of modified Petri net. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovaniye* [Modern technologies. System analysis. Modeling]. 2009, no. 4, pp. 23–29 (in Russ.).
3. Dubinin V.N., Zinkin S.A. *Proektirovaniye vychislitelnykh sistem i setey na osnove setevykh formalizmov. Kn. 1: Setevyye tekhnologii proektirovaniya i realizatsii raspredelennykh vychislitelnykh sistem na programmno-apparatnykh platformakh lokalnykh i globalnykh setey Ethernet/Internet* [Design of Computer Systems and Networks on the Basis of Net Formalisms. Book 1: Network Technology Design and Implementation of Distributed Computing Systems Hardware and Software Platforms LAN and WAN Ethernet/Internet]. Penza, PSU Publ., 1998, 322 p. (in Russ.).
4. Vilver P.Yu., Protasov A.V. Imitating Modeling of Complex Dynamic Systems Using Petri Nets. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control]. 2011, no. 7, pp. 35–39 (in Russ.).
5. Jensen K. *Colored Petri Nets – Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use*. Springer-Verlag, 1997, vol. 1–3, 673 p.
6. Kotov V.E. *Seti Petri* [Petri Networks]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 160 p. (in Russ.).
7. Podinovskiy V.V., Gavrilov V.M. *Optimizatsiya po posledovatelno primenyaemym kriteriyam* [Optimization on Consistently Applied Criteria]. Moscow, Sovetskoe radio, 1975, 192 p. (in Russ.).
8. Orlov A.I. *Teoriya prinyatiya resheniy* [Decision-Making Theory]. Study guide for univ. Moscow, Mart Publ., 2004, 656 p. (in Russ.).
9. Maltugueva G.S., Yurin A.Yu. Collective choice algorithm on the basis of generalized rankings for decision support. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]. 2009, no. 3, pp. 57–62 (in Russ.).