

## О КОМПЛЕКСНОМ ПОДХОДЕ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*Инж. ГОНЧАРОВ А. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

E-mail: algon2550@mail.ru

В процессе проектирования, производства и исследования сложной технологической машины возникают задачи, которые относятся не только к свойствам отдельных видов оборудования, но и к закономерностям функционирования объекта управления в целом. Под технологической машиной понимается такой технологический комплекс, в котором можно выделить систему управления (или управляющее устройство) и управляемый объект. Проанализирован ряд существующих подходов к построению моделей управляющих устройств и их функционированию. Предложена комплексная модель функционирования технологической машины, т. е. функционирования управляющего устройства и управляемого объекта технологической машины. При этом модели управляющего устройства и управляемого объекта технологической машины можно представлять как совокупность агрегатов (элементов) этих моделей. Описывается концепция реализации комплексной модели технологической машины как модели взаимодействия агрегатов (элементов) управляющего устройства и управляемого объекта. При подаче на управляющее устройство технологической машины управляющего воздействия выполняется его моделирование на алгоритмическом или логическом уровне, а полученные выходные сигналы интерпретируются как события, сообщения о которых передаются соответствующим исполнительным механизмам.

В предложенной схеме сопряжения агрегатов рассматриваются модели элементов как классы объектов, а схема сопряжения представляется как совокупность значений свойств объектов (совокупность множеств входных и выходных контактов) и их взаимодействий (в виде оператора сопряжения). Порождение потомков родительских объектов модели технологической машины и создание их экземпляров в различных частях проекта – одно из наиболее важных средств распределенного моделирования технологической машины, позволяющее создавать модели сложных технических устройств еще на уровне проектов.

**Ключевые слова:** технологические машины, модели управляющих устройств, модели управляемых объектов, комплексные модели, агрегатные модели.

Ил. 3. Библиогр.: 11 назв.

## ABOUT COMPLEX APPROACH TO MODELLING OF TECHNOLOGICAL MACHINES FUNCTIONING

*HONCHAROV A. A.*

*Belarusian National Technical University*

Problems arise in the process of designing, production and investigation of a complicated technological machine. These problems concern not only properties of some types of equipment but they have respect to regularities of control object functioning as a whole. A technological machine is thought of as such technological complex where it is possible to lay emphasis on a control system (or controlling device) and a controlled object. The paper analyzes a number of existing approaches to construction of models for controlling devices and their functioning. A complex model for a technological machine operation has been proposed in the paper; in other words it means functioning of a controlling device and a controlled object of the technological machine. In this case models of the controlling device and the controlled object of the technological machine can be represented as aggregate combination (elements) of these models. The paper describes a conception on realization of a complex model for a technological machine as a model for interaction of units (elements) in the controlling device and the controlled object. When a control activation is given to the controlling device of the technological machine its modelling is executed at an algorithmic or logic level and the obtained output signals are interpreted as events and information about them is transferred to executive mechanisms.

The proposed scheme of aggregate integration considers element models as object classes and the integration scheme is presented as a combination of object property values (combination of a great many input and output contacts) and combination of object interactions (in the form of an integration operator). Spawn of parent object descendants of the technological machine model and creation of their copies in various project parts is one of the most important means of the distributed technological machine modelling that makes it possible to develop complicated models of technical devices still at the project stage.

**Keywords:** technological machines, models of control devices, models of managed objects, complex models, aggregation models.

Fig. 3. Ref.: 11 titles.

В процессе проектирования, производства и исследования сложной технологической машины (ТМ) возникают задачи, которые относятся не только к свойствам отдельных видов оборудования, но и к закономерностям функционирования объекта управления в целом. Под ТМ, как и в [1, 2], понимается такой технологический комплекс, в котором можно выделить систему управления (или управляющее устройство) и управляемый объект (УО). Будем считать, что в структурном контексте УО представляет собой совокупность составляющих его исполнительных механизмов (ИМ). Исходя из такого подхода, функционирование ТМ [3] рассматривается как функционирование комплекса «управляющее устройство – управляемый объект (УУ-УО)», и в ряде случаев только такой подход позволяет построить функциональную модель ТМ, в значительной степени адекватную функционированию ТМ.

Для создания комплексной модели ТМ принимали агрегативную модель [4, 5]. Она является базовой отправной позицией для построения моделей следующих иерархических уровней и моделирующих алгоритмов. Рассмотрим средства системного комплексного моделирования различных проектных сред на базе единой агрегативной модели и метода распределенного моделирования [6]. Базовыми структурными элементами такой комплексной модели ТМ, существенными для решения задач функционально-логического моделирования, будем считать [7, 8]:

- органы управления (кнопки, тумблеры, переключатели и т. д.);
- датчики (фотоэлементы, путевые и конце-вые переключатели и выключатели, реле давления, тепловые реле, датчики уровня и пр.);
- реле (запоминания, задержек, счета, дублирования и т. д.);
- магнитные пускатели (контакторы);
- электромагниты;
- элементы сигнализации;
- программируемые логические контроллеры (ПЛК);
- электродвигатели;
- исполнительные механизмы (рабочие органы).

Разработка УУ сложных ТМ, как правило, состоит из таких основных этапов, как:

- формулирование требований в виде технического задания;
- разработка технического проекта;
- разработка опытного образца;
- испытания;
- изготовление головного образца;
- опытные эксперименты и доводка;
- выпуск, монтаж, наладка, ввод в эксплуатацию;
- модернизация системы.

Практически на каждом из этих этапов выполняются исследования и моделирование [9]. Для создания формализованной модели УУ в настоящее время используются два фундаментальных подхода:

- построение автоматной модели в виде граф-схем или графов переходов [10, 11];
- построение агрегативной модели.

Автоматная модель ориентирована на отдельную часть в концептуальной модели ТМ – на УУ. Для создания модели УО автоматная модель малоприменяема. Для построения агрегативной комплексной модели ТМ используем три типа моделей: модели агрегатов – элементов УУ, модели агрегатов – исполнительных механизмов и модель взаимодействия агрегатов.

**Модели агрегатов – элементов управляющих устройств.** Пусть сложное УУ есть система  $S$ , которая содержит элементы  $C_1, C_2, \dots, C_j$ . Всякий элемент  $C_j$  имеет входы и выходы.

Входной сигнал  $X(t)$  с компонентами  $X_1, X_2, \dots, X_m$  можно рассматривать как совокупность сигналов  $X_1(t), X_2(t), \dots, X_m(t)$ . Элементарные сигналы передаются по элементарным каналам. Каждый некоторый  $l$ -й элементарный канал, подключенный к выходу элемента  $C_j$ , способен передавать только элементарные сигналы  $y_i^{(j)}(t)$ , имеющие фиксированный индекс  $l$ . Вход элемента  $C_j$  состоит из  $m_j$  входных контактов. Контакт  $X_i^{(j)}$  принимает элементарные сигналы  $X_i^{(j)}(t)$  ( $i = 1, 2, \dots, m_j; j = 1, 2, \dots, N$ ). Аналогично выход элемента  $C_j$  состоит из  $r_j$  выходных контактов. Контакт  $Y_l^{(j)}$  выдает элементарные сигналы  $Y_l^{(j)}(t)$  ( $l = 1, 2, \dots, r_j$ ).

Элементарные сигналы, выдаваемые данным выходным контактом, передаются некоторому входному контакту другого или того же элемента или во внешнюю среду. Внешнюю среду можно представить в виде фиктивного

элемента  $C_0$  системы  $S$ , вход которого содержит  $m_0$  входных контактов  $X_j^{(0)}$ , а выход –  $r_0$  выходных контактов  $Y_l^{(0)}$ . Каждый элемент  $C_j$  (включая  $C_0$ ) системы  $S$  характеризуется множеством входных контактов  $X_1^{(j)}, X_2^{(j)}, \dots, X_m^{(j)}$ , которые обозначены  $[Y_i^{(j)}]_1^m$ , и множеством выходных контактов  $Y_1^{(j)}, Y_2^{(j)}, \dots, Y_r^{(j)}$ , обозначенных  $[Y_r^{(j)}]_1^r$ , где  $m = m_j; r = r_j; j = 0, 1, \dots, N$ .

Математической моделью элемента  $C_j$ , используемой для формального описания его сопряжения с другими элементами и внешней средой, является пара множеств:  $[Y_i^{(j)}]_1^m$  и  $[Y_r^{(j)}]_1^r$ .

**Модели агрегатов – исполнительных механизмов.** Модель ИМ [6] состоит из трех разнородных компонент:

- Вид\_ИМ;
- Траектория\_процесса\_ИМ;
- Сценарий функционирования\_ИМ.

Вид\_ИМ определяет его визуальное представление в образе одного базового графического объекта или иерархической структуры из групп базовых объектов. Внутри этой структуры поддерживаются отношения старшинства (родители-потомки) и глубины вложенности (последнее расположение на каждом иерархическом уровне). Базовые объекты и иерархические структуры из них обеспечивают возможность визуализации ИМ самой сложной структуры.

Траектория\_процесса\_ИМ отображает его перемещение в различных пространствах параметров (механические движения, деформации, изменение видимости и характеристик и т. д.). Эта компонента модели ИМ состоит из сегментов, определенных вершинами. После ввода Траекторию\_процесса\_ИМ можно корректировать, перемещая сегменты, преобразуя (конвертируя) их в кривые, добавляя новую вершину или удаляя уже существующую. При выполнении анимации объект перемещается от вершины к вершине. По умолчанию объект движется равномерно. Можно также создавать анимации объектов, движение которых может ускоряться или замедляться.

Сценарий функционирования\_ИМ определяет поведение ИМ и организацию объектно-событийного взаимодействия между УУ и исполнительными механизмами УО ТМ (или не-

которого моделируемого технологического процесса).

При подаче на УУ управляющего воздействия выполняется его моделирование на алгоритмическом и логическом уровнях [10], а полученные выходные сигналы интерпретируются как события, сообщения о которых передаются соответствующим ИМ. Каждый ИМ имеет сценарий, в соответствии с которым выполняется обработка полученного сообщения.

**Модель взаимодействия агрегатов.** Рассмотрим множество входных контактов всех элементов системы и внешней среды  $X$ , а также всех выходных контактов, где каждому  $X_i$  соответствует  $Y_j$ . С учетом изложенного ограничения можно ввести однозначный оператор  $Y_j = R$ , сопоставляющий входному контакту  $X_i$  выходной контакт  $Y_j$ , связанный с ним элементарным каналом. Если к данному контакту  $X_i$  не подключен элементарный канал, то этот оператор не определен на множестве  $X$ .

Оператор  $R$  назван оператором сопряжения, а совокупность множеств  $X$  и  $Y$ , а также оператора  $R$  – схемой сопряжения. Оператор сопряжения можно задать в виде таблицы, в которой на пересечении строк с номерами элементов системы  $j$  и столбцов с номерами контактов  $l$  располагаются пары чисел  $(k, l)$ , указывающие номера элемента  $k$  и контакта  $l$ , с которыми соединен контакт  $X_i$ . Однако следует отметить, что такая простая структура данных не приемлема для представления схемы сопряжения агрегатов в модели ТМ. В предложенной схеме сопряжения рассматриваются модели элементов – классы объектов. Схема сопряжения представляется как совокупность значений свойств объектов (совокупность множеств  $X$  и  $Y$ ) и их взаимодействий (оператор сопряжения  $Y_j = R$ ).

В зависимости от класса объекта совокупность значений свойств объекта определяется на своем множестве свойств. Так, для классов *Вход*, *Формула*, *Таймер*, *Счетчик*, *Сумматор*, *Компаратор*, *Супервизор*, *Инициализация* характерны свойства:

- ^имя\_объекта;
- ^событийный\_список.

У класса объектов *Потомок* имеются следующие свойства:

- ^команды\_движения; ^номер\_траектории;

^сенсоры\_старт; ^команды\_состояние;  
^команды\_модификация; ^сенсоры\_стоп.

Для потомков в среде алгоритма управления дополнительно используется текущий шаг процесса. При этом часть схемы сопряжения, соответствующая резидентной модели – системе предикатных формул (СПФ), формируется автоматически, а другие части – в диалоговом режиме на базе механизма Drag and Drop. Множества входных *X* и *Y* контактов агрегатов определяются в зависимости от классов объектов.

Очень важно учитывать, что здесь входными и выходными контактами агрегатов являются функциональные (события), а не структурные категории.

**Реализация комплексной модели технологической машины.** Концептуальная схема порождения приведена на рис. 1.

У одного родительского объекта может быть сколько угодно потомков в разных проектных средах. Концептуальная схема построения распределенной модели ТМ представлена на рис. 2.

Порождение потомков родительских объектов и создание их экземпляров в различных проектных средах – одно из наиболее важных оригинальных средств распределенного моделирования ТМ. Концептуальная схема процесса распределенного комплексного моделирования ТМ представлена на рис. 3.

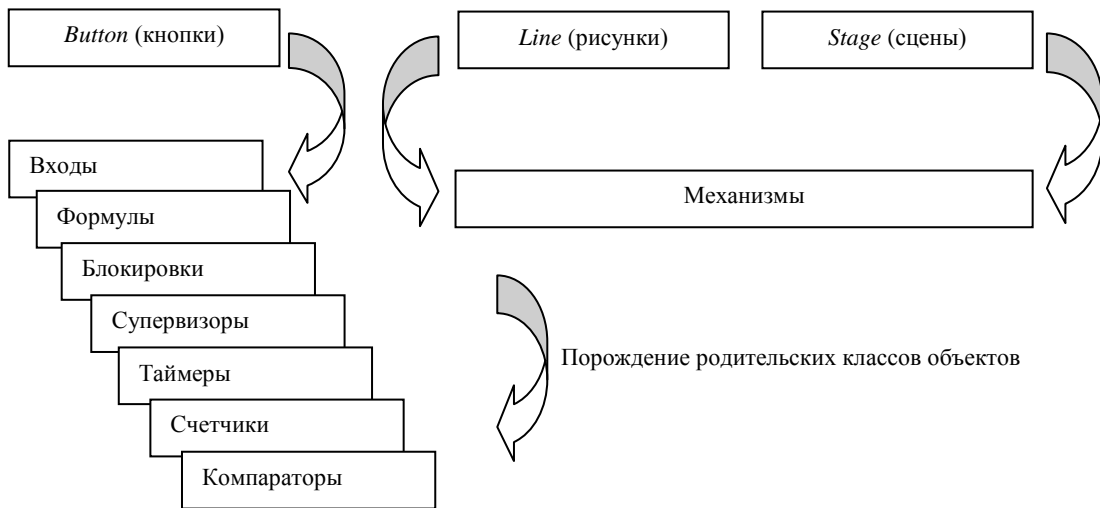


Рис. 1. Концептуальная схема порождения родительских объектов

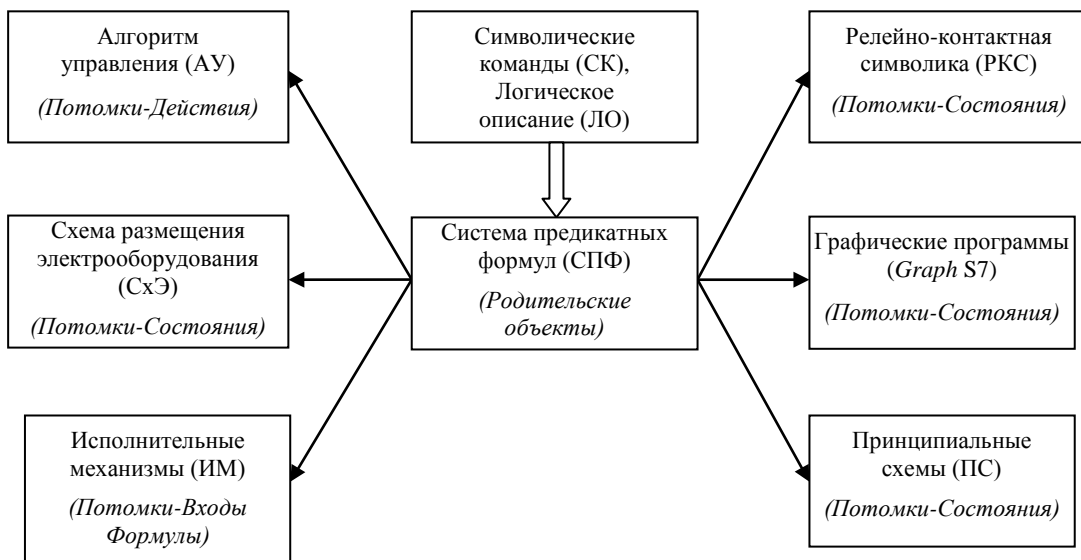


Рис. 2. Концептуальная схема построения распределенной модели ТМ:  $\Downarrow$  – создание СПФ программами на языке Open Script;  $\downarrow$  – порождение потомков объектов на базе механизма Drag and Drop

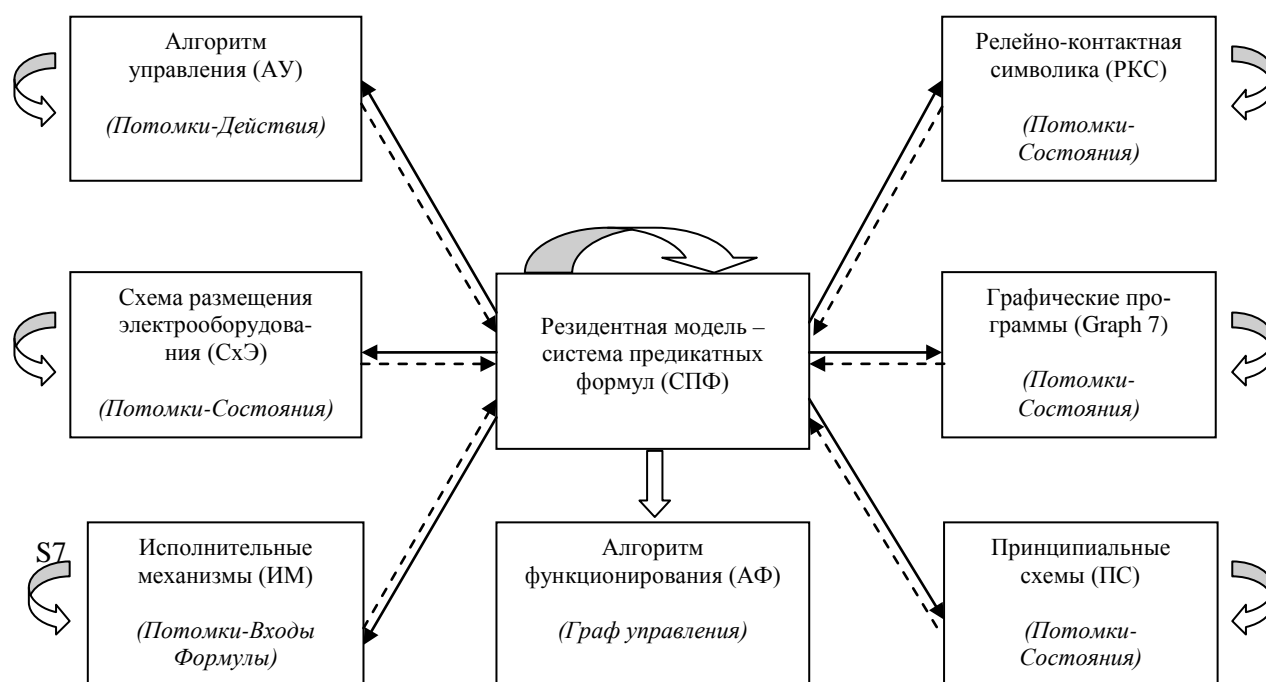


Рис. 3. Концептуальная схема процесса распределенного комплексного моделирования ТМ:  
 ↻ – резидентное моделирование СПФ (объекты-родители); ↻ ↻ – распределенное моделирование (потомки);  
 ⇓ – отображение причинно-следственных отношений объектов; ↓ – отображение действий  
 и состояний объектов-родителей на потомках; ↑ – передача воздействий через потомки объектам-родителям

Порожденные родительские классы объектов размещаются в различных проектных средах модели ТМ. Из них создаются экземпляры, соответствующие реальным объектам ТМ, а также порождаются новые классы – потомки. Комплексная модель функционирования ТМ реализована в виде распределенной объектно-событийной модели. Эта модель строится на базе объектов, которые представляют базовые структурные элементы модели ТМ, описанные выше. Такие объекты порождаются из классов базовой инструментальной системы.

Основной задачей потомков является отображение родительских объектов, изменяющих свои свойства в процессе выполнения резидентной модели, в том числе при нахождении их в различных проектных средах. Потомки могут также взаимодействовать с внешней средой и другими объектами, передавая эти взаимодействия родительским объектам.

## ВЫВОДЫ

1. Агрегативная модель эффективно использована для решения задач комплексного моде-

лирования технологической машины в структурном и функциональном аспектах.

2. Модели агрегатов – элементов управляющих устройств и модели агрегатов – исполнительных механизмов являются базовыми структурными элементами комплексной модели технологической машины.

3. Функциональный аспект моделирования технологической машины представлен моделью взаимодействия агрегатов. В предложенной схеме сопряжения агрегатов рассматриваются модели элементов как классы объектов, а схема сопряжения представляется как совокупность значений свойств объектов (совокупность множеств входных и выходных контактов) и их взаимодействий (в виде оператора сопряжения).

4. Порождение потомков родительских объектов модели технологической машины и создание их экземпляров в различных частях проекта – одно из наиболее важных средств распределенного моделирования технологической машины, позволяющее создавать модели сложных технических устройств еще на уровне проектов.

5. При подаче на управляющее устройство технологической машины управляющего воздействия выполняется его моделирование на алгоритмическом или логическом уровне [11], а полученные выходные сигналы интерпретируются как события, сообщения о которых передаются соответствующим исполнительным механизмам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Добролюбов, А. И.** Автоматизация проектирования систем управления технологических машин / А. И. Добролюбов, С. И. Акунович. – М.: Машиностроение, 1974. – 224 с.
2. **Акунович, С. И.** Дискретные системы логического управления технологических машин / С. И. Акунович, А. А. Гончаров, Ю. Н. Петренко. – Минск: ЗАО «Юнипак», 2006. – 336 с.
3. **Гончаров, А. А.** Функциональная агрегативная модель системы логического управления электроприводами технологического комплекса / А. А. Гончаров // Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 3. – С. 54–61.
4. **Бусленко, Н. П.** Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Энергия, 1978. – 328 с.
5. **Советов, Б. Я.** Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Бусленко. – М.: Высш. шк., 2001. – 376 с.
6. **Гончаров, А. А.** Резидентная и распределенная модели систем управления технологических машин / А. А. Гончаров // Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 2. – С. 49–52.
7. **Петренко, Ю. Н.** Системы управления промышленными комплексами: учеб. пособие / Ю. Н. Петренко. – Минск: Пион, 2002. – 300 с.
8. **Гончаров, А. А.** Об одном подходе к моделированию логической структуры управляющих устройств / А. А. Гончаров // Информатизация образовательных процессов: автоматизация управления, технологии, дистанционное обучение: Междунар. науч.-практ. конф., 19–20 апр. 2001 г., Минск: сб. науч. ст.: в 2 ч. / под ред. Н. А. Цырельчука. – Минск: МГВРК, 2001. – Ч. 1. – С. 229–241.
9. **Зайцев, Д. А.** Математические модели дискретных систем: учеб. пособие / Д. А. Зайцев; пер. с укр. – Одесса: ОНАС имени А. С. Попова, 2004. – 40 с.
10. **Shalyto, A. A.** Logic Control and “Reactive” Systems: Algorithmisation and Programming / A. A. Shalyto // Automation and Remote Control. – 2001. – Vol. 62, No 1. – P. 1–29.
11. **Акунович, С. И.** Объектно-событийное моделирование алгоритмов управления и исполнительных механизмов технологического оборудования / С. И. Акунович, А. А. Гончаров, В. С. Поплавский // Образовательные тех-

нологии в подготовке специалистов: Междунар. науч.-практ. конф., 20–21 марта 2003 г.: сб. науч. ст.: в 5 ч. / под ред. Н. А. Цырельчука. – Минск: МГВРК, 2003. – Ч. 4. – С. 9–15.

#### REFERENCES

1. **Dobrolyubov, A. I., & Akunovich, S. I.** (1974) *Designing Automation of Technological Machine Control Systems*. Moscow, Mashinostroeniye. 224 p. (in Russian)
2. **Akunovich, S. I., Goncharov, A. A., & Petrenko, Yu. N.** (2006) *Discrete Logic Control Systems of Technological Machines*. Minsk, Unipak. 336 p. (in Russian).
3. **Goncharov, A. A.** (2006) Functional Aggregative Model of Logical Control System for Electric Drives of Technological Complex. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG – Energetika* [Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Energetika], 3, 54–61 (in Russian).
4. **Buslenko, N. P.** (1978) *Modeling of Complex Systems*. Moscow, Energia. 328 p. (in Russian).
5. **Sovetov, B. Ya., & Buslenko, S. A.** (2001) *Modeling of Systems*. Moscow, Vysshaya Shkola. 376 p. (in Russian).
6. **Goncharov, A. A.** (2006) Resident and Distributed Models of Technological Machine Control Systems. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG – Energetika* [Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations – Energetika], 2, 49–52 (in Russian).
7. **Petrenko, Yu. N.** (2002) *Control Systems for Industrial Complexes*. Minsk: Publishing House Pion. 300 p. (in Russian).
8. **Goncharov, A. A.** (2001) About one Approach to Modeling of Control Device Logical Structure. *Informatization of Educational Processes: Automation of Control, Technology, Distance Education. Intern. Scientific and Practical. Conf. Collected Articles. Part 1*. Minsk, MGVRK [Minsk State Higher Radio Technical College], 229–241 (in Russian).
9. **Zaytsev, D. A.** (2004) *Mathematical Models of Discrete Systems*. Odessa: ONAS [Odessa National Academy of Telecommunications Named After A. S. Popov]. 40 p. (in Russian).
10. **Shalyto, A. A.** (2001) Logic Control and “Reactive” Systems: Algorithmisation and Programming. *Automation and Remote Control*, 62 (1), 1–29.
11. **Akunovich, S. I., Goncharov, A. A., & Poplavsky, V. S.** (2003) Object-Event Modeling of Control Algorithms and Executive Mechanisms for technological Machines. *Educational Technologies in Specialist Training. Intern. Scientific and Practical. Conf. Collected Articles. Part. 4*. Minsk, MGVRK [Minsk State Higher Radio Technical College], 9–15 (in Russian).

Поступила 31.03.2014