

---

УДК 658.012.011.56

**А. И. Якимов**, канд. техн. наук  
Государственное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
(Беларусь, 212005, Могилев, пр-т Мира, 43,  
тел. (+375 222) 252447, E-mail: ykm@tut.by)

## **Метод имитационного моделирования многоуровневых иерархических систем**

*(Статью представил чл.-кор. НАН Украины В. В. Васильев)*

Представлены теоретические положения, позволяющие построить систему имитационного моделирования сложных многоуровневых объектов с учетом современных информационных технологий: IDEF0-методологии, XML-технологии и других.

Наведено теоретичні твердження, які дозволяють побудувати систему імітаційного моделювання складних багаторівневих об'єктів з урахуванням сучасних інформаційних технологій: IDEF0-методології, XML-технології та інших.

*К л ю ч е в ы е с л о в а: имитационное моделирование, многоуровневая система.*

**Постановка задачи.** Промышленное предприятие представляется многоуровневой иерархической системой с координирующими элементами, принимающими решения на каждом из уровней в соответствии со своим положением в иерархии управления. Научно-техническая проблема создания эффективных методов, средств и технологий имитационного моделирования производственно-экономической деятельности в многоуровневой иерархической структуре промышленного предприятия с ERP-системой управления предполагает решение следующих задач:

а) разработать метод имитационного моделирования производственно-экономической деятельности промышленного предприятия с ERP-системой управления;

б) разработать базовую имитационную модель (ИМ) производственно-экономической деятельности промышленного предприятия и технологию использования этой ИМ, обеспечивающую реализацию указанного метода.

В предлагаемом методе имитационного моделирования ERP-системы [1] управления промышленным предприятием используется декомпози-

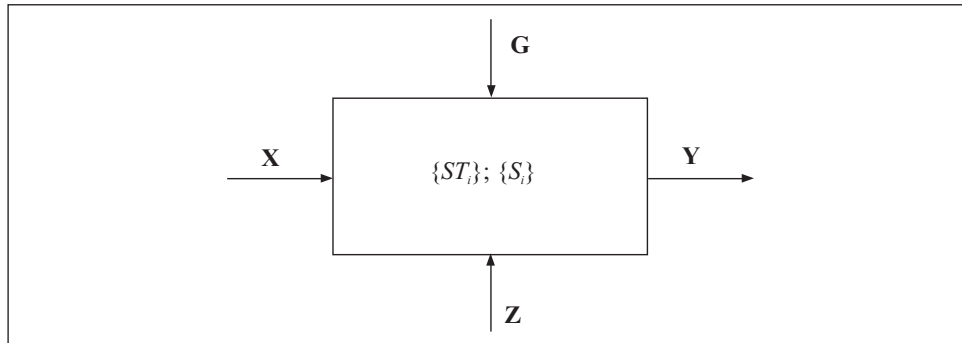


Рис. 1. Графическое представление концептуальной модели:  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{G}$ , и  $\mathbf{Z}$  — векторы управляемых, задаваемых и неуправляемых параметров моделирования;  $\mathbf{Y} = \Phi(\mathbf{X}; \mathbf{G}; \mathbf{Z})$  — вектор выходных параметров (откликов), входящих в состав функции качества;  $\{ST_i\}$  и  $\{S_i\}$  — множества статистик моделирования и состояний объекта моделирования

ция системы на подсистемы, процессы и активности с применением процессного способа имитации [2, с. 31—36], что позволяет обеспечить очень важное сходство структуры модели и объекта исследования.

**Формальное описание многоуровневой иерархической системы.**

В практике имитационного моделирования [2, с. 121] для построения концептуальной модели объекта исследования используют, как правило, графическое описание, представленное на рис. 1. Однако для формализации промышленного предприятия как многоуровневой иерархической системы такое представление является недостаточным.

В соответствии с формализацией сложной системы [3, с. 480—487] любая многоуровневая система на  $\ell$ -м уровне описывается следующей символьной конструкцией:

$$S^\ell \leftrightarrow \{w, S_0, \sigma\}^\ell,$$

где  $w^\ell$  — функциональные действия элементов системы;  $\sigma^\ell$  — структура, конструкция системы;  $S_0^\ell$  — координатор на  $\ell$ -м уровне;  $\ell$  — индекс уровня,  $\ell \in L$ .

Для системы  $S^\ell$  с подсистемами  $\ell$ -го уровня функциональные действия и структура представлены множествами соответственно  $w^\ell \leftrightarrow \{\tilde{w}, S_0\}^\ell$  и  $\sigma^\ell \leftrightarrow \{S_0, \tilde{\sigma}\}^\ell$ . Координирующий элемент  $S_0^\ell$  определяется внутренней  ${}_0S^\ell$  и окружающей средой  ${}_eS^\ell$ . При этом для  ${}_0S^\ell$  определены функциональные действия и структура  ${}_{0\pi}S^\ell$  внутриуровневых взаимодействий в окружающей среде  ${}_eS^\ell$  и функциональные действия и структура  ${}_{\pi e}S^\ell$  межуровневых взаимодействий в окружающей среде  ${}_eS^\ell$ :

$$\{{}_0S, {}_{0\pi}S\}^\ell \leftrightarrow S^{\ell \pm 0}; \{{}_{\pi e}S, {}_eS\}^\ell \leftrightarrow S^{\ell \pm \tau},$$

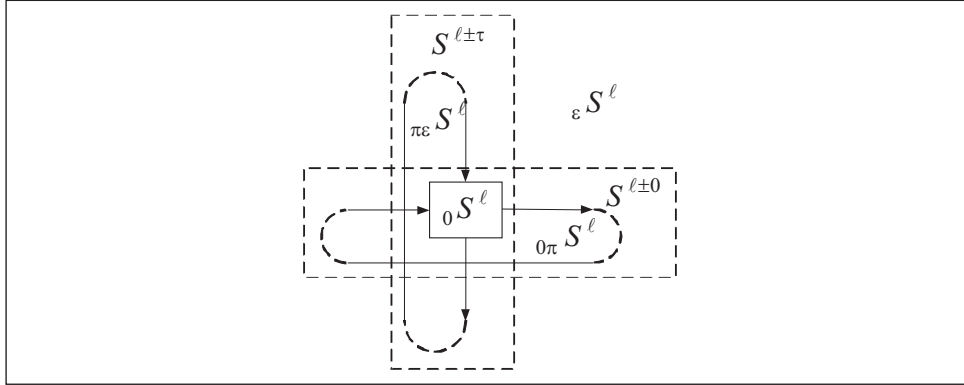


Рис. 2. Формализация многоуровневой системы:  $S^{\ell\pm 0}$  и  $S^{\ell\pm\tau}$  — системы внутриуровневых и межуровневых отношений;  ${}_0S^{\ell}$  — внутренняя среда;  ${}_{0\pi}S^{\ell}$  и  ${}_{\pi\varepsilon}S^{\ell}$  — структуры внутриуровневых и межуровневых взаимодействий в окружающей среде  ${}_{\varepsilon}S^{\ell}$

где  $S^{\ell\pm 0}$  — система внутриуровневых отношений;  $S^{\ell\pm\tau}$  — система межуровневых отношений;  $\tau$  — индекс уровня многоуровневой системы (рис. 2).

В системе, показанной на рис. 2, функциональные действия и структура на  $\ell$ -уровне представлены взаимодействующими с окружающими уровнями, т.е.

$$\tilde{w}^{\ell} \leftrightarrow \{w^{\ell\pm\tau}, {}_w\gamma \mid \tau \in L\}, \quad (1)$$

где  $w^{\ell\pm\tau}$  с учетом системных действий на  $\ell \pm \tau$ -уровне и отношений  ${}_w\gamma^{\ell}$  представлены в виде

$$w^{\ell\pm\tau} \leftrightarrow \{\tilde{w}^{\ell\pm 0}, \tilde{w}^{\ell\pm\tau}, {}_w\gamma^{\ell} \mid \tau \in L, \tau \neq 0\} \leftrightarrow \\ \leftrightarrow \{\{{}_0w, {}_{0\pi}w, {}_w\gamma_0\}^{\ell\pm 0}, \{\pi\varepsilon w, \varepsilon w, {}_w\gamma_{\varepsilon}\}^{\ell\pm\tau}, {}_w\gamma^{\ell} \mid \tau \in L, \tau \neq 0\}.$$

Отношения  ${}_w\gamma^{\ell}$  определяются множествами состояний  ${}_kC^{\ell}$ , входов  ${}_kX^{\ell}$  и выходов  ${}_kY^{\ell}$ :

$${}_w\gamma^{\ell} \leftrightarrow \{\{X, C, Y\}_k \mid k \in {}_kL, {}_kL \leftrightarrow \{0, 0\pi, \pi\varepsilon, \varepsilon\}\}^{\ell}.$$

С учетом системных (внутриуровневых и межуровневых) взаимодействий динамику функциональных действий представим следующими характеристическими функциями:

$${}_k w^{\ell} \leftrightarrow {}_k(\tilde{\rho}, \tilde{\delta})^{\ell} \mid k \in {}_kL, {}_kL \leftrightarrow \{0, 0\pi, \pi\varepsilon, \varepsilon\}.$$

Функция выходов:

$${}_k \tilde{\rho}^{\ell} \leftrightarrow {}_k \{\rho_t : C_t \times X_t \rightarrow Y_t \wedge t \in T\}^{\ell}.$$

Функция переходов:

$${}_k \tilde{\delta}^\ell \leftrightarrow_k \{ \delta_{t'} : C_t \times X_t \rightarrow C_{t'}, \wedge t, t' \in T \wedge t' > t \}^\ell.$$

В развитие работы [4, с. 480—487] предлагается формализация структуры элементов  $\ell$ -го уровня с учетом структурных отношений  $\gamma_\sigma^\ell$ , позволяющих оценивать эффективность структуры системы:

$$\tilde{\sigma}^\ell \leftrightarrow \{ \sigma^{\ell \pm \tau}, \gamma_\sigma | \tau \in L \}.$$

Аналогично (1)  $\sigma^{\ell \pm \tau}$  представим в виде

$$\begin{aligned} \sigma^{\ell \pm \tau} &\leftrightarrow \{ \tilde{\sigma}^{\ell \pm 0}, \tilde{\sigma}^{\ell \pm \tau}, \gamma_\sigma^\ell | \tau \in L, \tau \neq 0 \} \leftrightarrow \\ &\leftrightarrow \{ \{ {}_0 \sigma w_i | i \in I, {}_0 \gamma_\sigma \}^{\ell \pm 0}, \{ {}_\varepsilon \sigma w_i | i \in I, {}_\varepsilon \gamma_\sigma \}^{\ell \pm \tau}, \gamma_\sigma^\ell | \tau \in L, \tau \neq 0 \}. \end{aligned}$$

Структурные отношения могут быть представлены элементами матрицы для внутриуровневых отношений,

$$[{}_0 \gamma_\sigma^{\ell \pm 0}] \leftrightarrow \begin{cases} 1, |({}_0 \sigma w_i, {}_0 \sigma w_j) \in {}_0 \gamma_\sigma^{\ell \pm 0}, \forall i, j \in I; \\ 0, |({}_0 \sigma w_i, {}_0 \sigma w_j) \notin {}_0 \gamma_\sigma^{\ell \pm 0}, \forall i, j \in I, \end{cases}$$

и аналогично для межуровневых отношений:

$$[{}_\varepsilon \gamma_\sigma^{\ell \pm \tau}] \leftrightarrow \begin{cases} 1, |({}_\varepsilon \sigma w_i, {}_\varepsilon \sigma w_j) \in {}_\varepsilon \gamma_\sigma^{\ell \pm \tau}, \forall i, j \in I \wedge \tau \in L, \tau \neq 0; \\ 0, |({}_\varepsilon \sigma w_i, {}_\varepsilon \sigma w_j) \notin {}_\varepsilon \gamma_\sigma^{\ell \pm \tau}, \forall i, j \in I \wedge \tau \in L, \tau \neq 0. \end{cases}$$

Система  $S^{\ell \pm 0}$  имеет выходы  $Y^{\ell \rightarrow \ell \pm \tau}$ , направленные на вышестоящий уровень —  $Y^{\ell \rightarrow \ell + \tau}$  и, соответственно, на нижестоящий —  $Y^{\ell \rightarrow \ell - \tau}$ . Система  $S^{\ell \pm 0}$  получает возмущения по входам  $X^{\ell \leftarrow \ell \pm \tau}$ : от вышестоящих уровней — по входам  $X^{\ell \leftarrow \ell + \tau}$  и от нижестоящих уровней — по входам  $X^{\ell \leftarrow \ell - \tau}$ . Состояние  $C^\ell$  системы  $\ell$ -уровня определяется собственными входами и выходами:  $C^\ell \leftrightarrow \{ X^{\ell \leftarrow \ell}, Y^{\ell \rightarrow \ell} \}$ .

Благодаря системным связям  ${}_w \gamma^\ell$  любое функциональное действие  $w^\ell$  может быть изменено другими элементами системы.

**Формализация функционирования координатора.** Координатор  $S_0^\ell$  в многоуровневой системе представлен в виде  $S_0^\ell \leftrightarrow \{ w, S_0, \sigma \}_0^\ell$ , где функциональные действия  $w_0^\ell$  и структура  $\sigma_0^\ell$  позволяют координатору  $S_0^\ell$  оценивать свою деятельность и изменять ее путем корректировки  $w_0^\ell$  и  $\sigma_0^\ell$ .

Система, обладающая иерархической структурой, отличается от всех прочих тем, что функции ее подсистем наиболее естественно интерпретируются как поиск и принятие решений. В функциональной иерархии решений отправной точкой является принятие решения в условиях не-

определенности, что можно сформулировать как проблему нахождения удовлетворительных решений при заданных ограничениях.

По характеру иерархического расположения образующих систему координирующих элементов в [5, с. 69] указаны следующие системы принятия решений: одноуровневые целевые, одноуровневые многоцелевые, многоуровневые многоцелевые. Класс многоуровневых многоцелевых систем характеризуется наличием иерархических отношений между координирующими элементами и вышестоящим управляющим элементом. Проблема принятия решений на уровне этого элемента является основной проблемой в теории многоуровневых систем.

Пусть  $\lambda \leftrightarrow \ell \pm \tau_\lambda$ ,  $\varphi \leftrightarrow \lambda \pm \tau_\varphi$ ,  $\psi \leftrightarrow \varphi \pm \tau_\psi, \dots$ ;  ${}^\beta L \leftrightarrow \{\lambda, \varphi, \psi, \dots\}$ . Тогда  ${}^\beta S_0^\ell$  — уровень координатора  $S_0^\ell$ ,  $\beta$  — новый, более высокий, совершенный уровень деятельности, поведения координатора. Каждый уровень  $\tau_\beta$  в  ${}^\beta S_0^\ell$  имеет собственную стратегию координации. Стратегии  ${}^\lambda S_0^\ell$ , представленные действиями координирующих элементов  ${}^\lambda S_0^\ell$ , определяют изменения в структуре  $\sigma^{\ell-\tau}$  и  $\sigma^{\ell+\tau}$ , используя функциональные действия  $w^\ell$ .

В работе [5, с. 66] рассматривается три уровня представления координатора, именуемые слоями:

I — слой выбора  ${}^\lambda S_0^\ell$ , где осуществляется поиск предпочтительного или допустимого способа действий, удовлетворяющего заданным ограничениям. При этом  ${}^\lambda S_0^\ell$  задается отображением  ${}^\lambda S_0^\ell: \lambda (\hat{w} \times w_{0\psi} \times w_{0\varphi})^\ell \rightarrow w_{0\lambda}^\ell$ , где  ${}^\lambda \hat{w}^\ell$  — сигналы обратной связи от управляемого объекта или, возможно, от окружающей среды;  ${}^\lambda w_{0\psi}^\ell$  — координирующие сигналы с третьего  $\psi$ -уровня принятия решения, определяющие структуру слоя  ${}^\lambda S_0^\ell$ ;  ${}^\lambda w_{0\varphi}^\ell$  — сигналы координации со второго  $\varphi$ -уровня, уточняющие для первого слоя множество неопределенностей;  $w_{0\lambda}^\ell$  — множество сигналов управления объектом, например технологическим процессом  $T$ .

II — слой обучения  ${}^\varphi S_0^\ell$ , где уменьшаются или устраняются неопределенности; представляется отображением  ${}^\varphi S_0^\ell: \varphi (\hat{w} \times w_{0\psi})^\ell \rightarrow w_{0\varphi}^\ell$ , где  ${}^\varphi \hat{w}^\ell$  — информация об окружающей среде;  ${}^\lambda w_{0\psi}^\ell$  — координирующие параметры, определяющие структуру слоя  ${}^\varphi S_0^\ell$ .

III — слой самоорганизации  ${}^\psi S_0^\ell$ , где осуществляется выбор стратегии, используемой в процессе поиска решения; описывается отображением  ${}^\psi S_0^\ell: \psi \hat{w}^\ell \rightarrow {}^\psi w_{0\psi}^\ell \times {}^\lambda w_{0\psi}^\ell$ , где  ${}^\psi \hat{w}^\ell$  — информация, поступающая по каналам обратной связи.

Последующая формализация многоуровневой системы для ее моделирования предполагает описание системы принятия решения. Представляется перспективным направление исследований, связанное с имитационным моделированием систем принятия решений и видов координации.

**Формальная структура процесса принятия решения на предприятии.** Пусть исследуется процесс  $T$  на  $\ell$ -уровне с сигналами управления  $w_{0\lambda}^\ell$ , внешними возмущениями  $w^{\ell\pm\tau}$  из окружающей среды, множеством выходов  $Y^\ell$ . Процесс  $T$  представляется отображением

$$T: w_{0\lambda}^\ell \times w^{\ell\pm\tau} \rightarrow Y^\ell.$$

Поскольку имеется  $n$  локальных управляющих систем  $S_{01}^\ell, \dots, S_{0n}^\ell$ , множество управляющих сигналов  $w_{0\lambda}^\ell$  для процесса  $T$  удобно представить в виде декартова произведения  $w_{0\lambda}^\ell \leftrightarrow_1 w_{0\lambda}^\ell \times \dots \times_n w_{0\lambda}^\ell$ . При этом  $i$ -я локальная управляющая система  $S_{0i}^\ell$  имеет полномочия выбирать  $i$ -ю компоненту  $w_{0\lambda}^\ell$  управляющего сигнала  $w_{0\lambda}^\ell$ .

К системе  $S_{0i}^\ell$  поступает координирующий сигнал  $w_0^{\ell+\tau}$  и информационный сигнал обратной связи  $w^{\ell\pm 0}$  от процесса  $T$ . Система  $S_{0i}^\ell$  реализует отображение

$$S_{0i}^\ell: w_0^{\ell+\tau} \times w^{\ell\pm 0} \rightarrow w_{0i}^{\ell+0}.$$

Координирующие сигналы  $w_0^{\ell+\tau}$  полагаем  $n$ -мерными векторами  $(w_{01}, \dots, w_{0n})^{\ell+\tau}$ , поэтому на  $S_{0i}^\ell$  поступает только  $i$ -я компонента  $w_{0i}^{\ell+\tau}$ .

Координатор вышестоящего уровня  $S_0^\tau | \tau \leftrightarrow \sup \tau \in L$  осуществляет отображение

$$S_0^\tau: \hat{w}^{\ell\pm\tau} \rightarrow w_0^\tau, \quad (2)$$

где  $\hat{w}^{\ell\pm\tau}$  — множество информационных сигналов, с помощью которых реализуется обратная связь.

Управляющая система составлена из решающих элементов и реализаторов [5, с. 116]. Функции реализаторов сводятся к модификации выходных данных решающего элемента для использования в другой системе. Декомпозиция системы (2) представлена решающим элементом

$$d_0^\tau: \hat{w}^\tau \rightarrow_{0\pi} w_0^\tau$$

и реализатором  $c_0^\tau: \hat{w}^\tau \times_{0\pi} w_0^\tau \rightarrow w_0^\tau$ . Координирующий сигнал от управляющей системы  $S_0^\tau | \tau \leftrightarrow \sup \tau \in L$ :

$$w_0^\tau \leftrightarrow c_0^\tau(\hat{w}^\tau, d_0^\tau(\hat{w}^\tau)) \leftrightarrow S_0^\tau(\hat{w}^\tau).$$

Декомпозиция управляющей системы нижестоящего уровня  $S_{0i}^\ell: w_0^\tau \times w^{\ell\pm 0} \rightarrow w_{0i}^\ell$  представляется решающим элементом  $d_{0i}^\ell: w_0^\tau \times w^{\ell\pm 0} \rightarrow_{0\pi} w_{0i}^\ell$  и реализатором  $c_{0i}^\ell: w^{\ell\pm 0} \times_{0\pi} w_{0i}^\ell \rightarrow w_{0i}^\ell$ .

Для сложных многоуровневых систем такие понятия как цель, целенаправленная деятельность системы, поиск цели, целенаправленная сис-

тема жестко связаны с понятиями поиска, принятия решений, реализации системы принятия решений. Однако целенаправленное поведение и процесс целенаправленного поиска, по сути, представляют собой последовательность принимаемых и осуществляемых решений. Формирование цели определяется через решаемые задачи, которые сводятся к задачам оптимизации или задачам поиска удовлетворительных решений. Цель считается достигнутой, когда находится решение соответствующей задачи.

С каждым решающим элементом  $d_{0i}^{\ell}$  связано семейство задач  $D_{0i}^{\ell}(w_0^{\tau}, w^{\ell\pm 0})$  с множеством решений таких, что для каждой пары из  $w_0^{\tau} \times w^{\ell\pm 0}$  решением задачи  $D_i^{\ell}(w_0^{\tau}, w^{\ell\pm 0})$  является

$${}_{0\pi} w_{0i}^{\ell} \leftrightarrow d_i^{\ell}(w_0^{\tau}, w^{\ell\pm 0}).$$

Управляющее воздействие на  $i$ -й подпроцесс:

$$w_{0i}^{\ell} \leftrightarrow c_i^{\ell}(w^{\ell\pm 0}, d_i^{\ell}(w_0^{\tau}, w^{\ell\pm 0})),$$

где  $w_0^{\tau}$  — заданный координирующий сигнал.

**Идея метода имитационного моделирования многоуровневой иерархической системы.** В основу метода положено следующее:

1) представление промышленного предприятия в виде многоуровневой иерархической системы с распределением компонентов исследуемой системы по уровням с активными элементами принятия решений на каждом уровне иерархии;

2) использование методологии UML [6] и проведение функционального анализа на основе методологии SADT в нотации IDEF0 [7] для построения вербальной и концептуальной моделей объекта исследования;

3) создание и использование базовой ИМ промышленного предприятия в ERP-системе управления;

4) применение методологии объектно-ориентированного анализа и проектирования [8] для составления программы ИМ на основе процессного способа имитации [2, с. 31—36];

5) использование технологии XML [9] для ввода данных в модель из комплексной информационной системы (КИС);

6) выбор варианта решения на исследуемом уровне управления с учетом глобальной цели системы;

7) использование иерархических уровней адаптации системы управления для приспособления ее к специфическим свойствам объекта и окружающей среды [10].

Для реализации метода предполагается построение базовой ИМ промышленного предприятия с учетом его многоуровневой иерархической

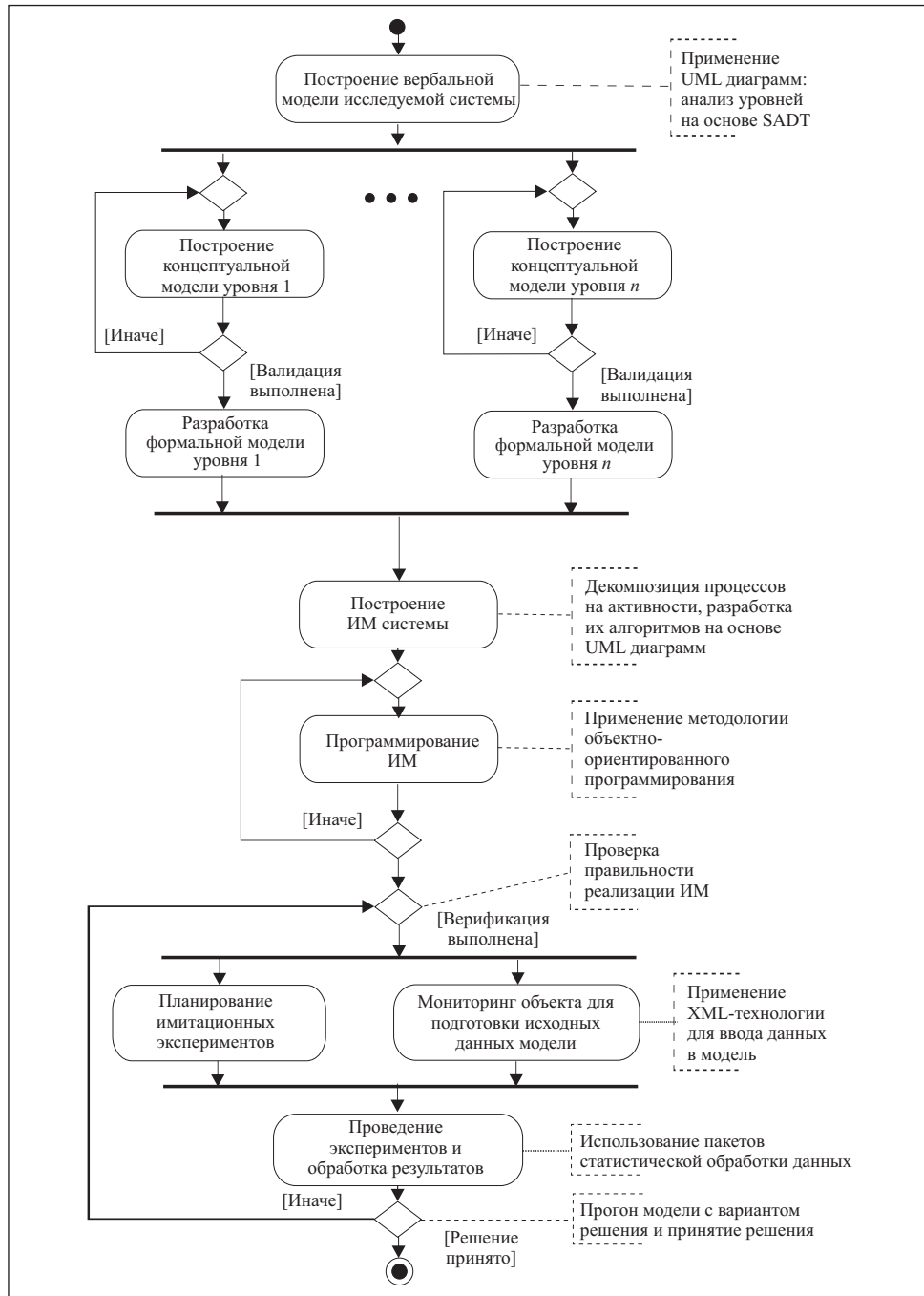


Рис. 3. Алгоритм метода имитационного моделирования многоуровневой иерархической системы



структуры и последующим уточнением в модели объектов системы в соответствии с такими этапами (рис. 3).

**Э т а п 1.** Построение вербальной модели исследуемой системы и объектов в системе. Предполагается содержательное описание исследуемой системы по результатам работы с заказчиком и экспертами. Формируется представление о многоуровневости и иерархичности системы.

**Э т а п 2.** Разработка концептуальной модели. На основе вербальной модели этап завершается построением концептуальной модели.

**Э т а п 3.** Разработка формальной модели и построение ИМ системы. Используется методология функционального моделирования SADT. Важной особенностью является постепенное введение уровней детализации по мере создания диаграмм. Поэтому SADT в нотации IDEF0 используется не только для формализации системы, но и для изучения и анализа выполняемых ею функций, для описания ИМ. При этом прорабатываются вопросы синхронизации процессов и их взаимодействия с управляющей программой моделирования, задания начальных условий, организации сбора статистики и окончания имитации.

**Э т а п 4.** Программирование и отладка модели. Предназначен для создания программы ИМ на основе концепции объектно-ориентированного программирования. Это позволяет создавать библиотеку моделей объектов системы, расширять их функциональные возможности, обеспечивая при этом обратную совместимость вследствие инкапсуляции деталей реализации.

**Э т а п 5.** Испытание и исследование модели в составе КИС. Требуется разработка программного обеспечения для интеграции ИМ и КИС в реальных условиях производства, что позволит решать вопросы подготовки актуальных исходных данных, ввода данных на основе XML-технологии, проведения экспериментов для решения поставленных задач.

**Э т а п 6.** Эксплуатация ИМ. Предполагается длительное использование модели в контуре управления промышленным предприятием. Позволяет определить сочетание и место имитационных и аналитических моделей при исследовании производства. Имитация используется для уточнения теоретических аспектов в производстве, которые не обеспечиваются аналитическими методами. Возможна проверка и подтверждение адекватности аналитических моделей, отличающихся простотой эксплуатации в реальных условиях предприятия, для их практического использования.

**Пример реализации метода имитационного моделирования.** На крупных химических предприятиях, имеющих в своей структуре несколько заводов, расход средств по основным статьям, определяющим себестоимость продукта (расход сырья, расход энергетических ресурсов, амортизационные отчисления), с увеличением мощности производства при сохранении технологической схемы и режима проведения основных

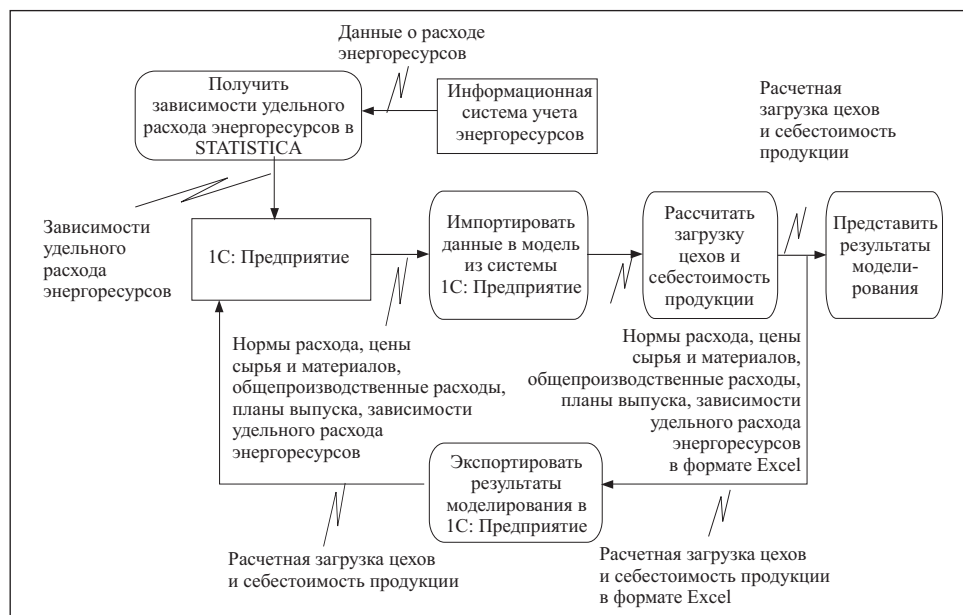


Рис. 4. Имитационная модель в информационной системе предприятия

процессов имеет тенденцию к сокращению. В то время как расход сырья на стадии химического превращения практически не зависит от размера производственной аппаратуры, относительные потери сырья и готового продукта (например, диметилтерефталата (ДМТ) на заводе органического синтеза), обратно пропорциональные величине перерабатываемых потоков на других стадиях технологической схемы, уменьшаются с увеличением мощности производства почти линейно. Если производство многопоточное, то для заданной производственной программы ставится задача определения оптимальной загрузки цехов предприятия на основе имитационного моделирования (рис. 4).

Базовая ИМ промышленного предприятия включает компоненты маркетингового, финансового, производственного и других уровней [11]. Для решения поставленной задачи развит компонент производственного уровня. Одной из проблем при построении модели является создание алгоритмов поиска оптимального решения на основе нескольких критериев и условий ограничения. Создание и реализация такого алгоритма с применением различных языков программирования на практике оказывается довольно сложной задачей. Проще воспользоваться табличным процессором MS Excel с реализацией метода «Поиск решения», позволяющего находить оптимальное решение задачи. Кроме того, MS Excel предоставляет широкие возможности

для хранения взаимозависимых данных, используя связи между ячейками таблиц. Возможность написания макросов позволяет автоматизировать некоторые рутинные операции, например, по вводу и выводу данных.

Для расчета себестоимости необходимо ввести в модель данные о ценах и нормах расхода основного сырья, вспомогательных материалов и энергоресурсов. Нормы расхода сырья и вспомогательных материалов, а также цены на сырье, материалы и энергоресурсы хранятся в системе 1С: Предприятие. Поэтому в разрабатываемой модели необходимо осуществить автоматизированный импорт этих данных в модель. Данные о расходе энергоресурсов хранятся в специализированной информационной системе на предприятии в виде статистической информации, полученной снятием показаний контрольно-измерительных приборов. Эти данные обрабатываются в программе Statistica, полученные зависимости норм расхода энергоресурсов сохраняются и вводятся в модель. Далее вводят суточный план выпуска ДМТ и программа выдает расчетную загрузку цехов по производству ДМТ и себестоимость ДМТ для каждого цеха и завода в целом. Зависимости норм расхода энергоресурсов, планы выпуска, расчетные значения загрузки и себестоимости могут быть сохранены в системе 1С: Предприятие 8.0, где также предусматривается чтение требуемых данных при открытии модели.

Для принятия решения, учитывающего не только локальную цель исследуемого уровня, но и глобальную цель системы, базовая ИМ исследуется с модифицированным компонентом производственного уровня. При решении многокритериальной задачи в системе используется принцип Парето совместно с постулатом совместимости М. Месаровича [12].

**Заключение.** Представленный метод основан на новом подходе к имитации системы управления промышленным предприятием путем использования комплекса взаимосвязанных ИМ с высоким уровнем детализации и использованием следующих принципов разработки таких ИМ и комплексов: учет многоуровневой иерархической структуры управления промышленным предприятием в ИМ; учет в технологии использования ИМ координирующих элементов на каждом из уровней иерархии и вышестоящего управляющего элемента; универсальный характер ИМ промышленного предприятия с ERP-системой управления; применение методологии объектно-ориентированного анализа и проектирования для составления ИМ; итеративный характер использования ИМ; использование XML-технологии для ввода данных в ИМ из комплексной информационной системы промышленного предприятия.

Представление многоуровневой системы на единой формальной основе с элементами принятия решений позволяет подойти к созданию новых интеллектуальных систем имитационного моделирования.

The theoretical statements are presented, allowing construction of the simulation modelling system for complex multilevel objects taking into account the modern information technologies: IDEF0-methodology, XML-technology, etc.

1. Якимов А. И., Альховик С. А. Имитационное моделирование в ERP-системах управления. — Минск : Бел. наука, 2005. — 198 с.
2. Максимей И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ. — М. : Радио и связь, 1988. — 232 с.
3. McDonnel L. Business driving in hierarchical systems / McDonnel L., Miatliuk K., Gancharova S. // Proc. of 8th IFAC / IFORS / IMACS / IFIP Symposium on Large Scale Systems: Theory and Applications, LSS'98. — Greece, Rio Patras, University of Patras, 1998. — P. 766—771.
4. Novikava S., Gancharova S., Burawkin A. et al. Hierarchical mathematics: theory of sway // Proc. of 8th IFAC / IFORS / IMACS / IFIP Symposium on Large Scale Systems: Theory and Applications, LSS'98. — Greece, Rio Patras, University of Patras, 1998. — P. 480—487.
5. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. / Пер. с англ. под ред И. Ф. Шахнова. — М. : Мир, 1973. — 344 с.
6. Ларман К. Применение UML и шаблонов проектирования. Введение в объектно-ориентированный анализ и проектирование. — М. : Изд. дом «Вильямс», 2001. — 496 с.
7. IDEF0. FIPS Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). Federal Information Processing Standards Publication 183. Computer Systems Laboratory. National Institute of Standards and Technology, 1993.
8. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++. 2-е изд. / Пер. с англ. — М. : Бином, СПб.: «Невский диалект», 1999. — 360 с.
9. Дейтел Х. М. и др. Как программировать на XML / Пер. с англ. — М. : Бином, 2001. — 994 с.
10. Растринин Л. А. Адаптация сложных систем. — Рига: Зинатне, 1981. — 375 с.
11. Альховик С. А., Якимов А. И. Имитационная модель промышленного предприятия для ERP-системы управления // Вестн. Могилевского государственного технического университета. — 2004. — № 2 (7). — С. 11—16.
12. Якимов А. И. Об одной методике принятия решений в иерархической структуре предприятия // Изв. Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. — 2007. — № 6 (39). — С. 150—153.

Поступила 11.02.08

*ЯКИМОВ Анатолий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления Белорусско-Российского университета. В 1979 г. окончил Могилевский машиностроительный ин-т. Область научных исследований — методы и средства имитационного моделирования производственно-экономических систем.*