

УДК: 004.942

© 2012 г. **В.М. Дмитриев**, д-р техн. наук,
Т.В. Ганджа, канд. техн. наук

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники)

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ*

В статье описываются принципы построения компьютерных моделей систем управления технически сложными объектами, предназначенных для автоматизации определения значений параметров их компонентов и управляющих воздействий, при которых в объектах будет наблюдаться желаемый режим функционирования. С целью повышения эффективности моделирования произведено разделение модели на энергетическую и информационную составляющие.

Ключевые слова: технически сложный объект, технически сложная система, метод компонентных цепей, система автоматизированного управления, алгоритм передачи сообщений

Введение

Объекты промышленной добычи и первичной переработки нефти и газа относятся к технически сложным объектам (ТСО), протекающие технологические процессы (ТП) в которых оказывают неблагоприятные воздействия на окружающую среду. Управление такими объектами должно быть направлено на своевременное определение и установку значений варьируемых параметров компонентов, при которых его функционирование производится в рамках предписанных технологическим регламентом требований. Определение подобных значений является сложной задачей, актуальность которой связана с требованиями промышленной безопасности и повышением эффективности производства, минимизацией возможных неблагоприятных воздействий на объекты природной среды (ОПС) и проживающего населения. Для решения данной задачи в настоящее время применяются различные средства интеллектуализации принятия управленческих решений, позволяющие на основе накопленной информации о ходе процессов и методов интерполяции и экстраполяции прогнозировать поведение объекта, а также с использованием экспертных систем вырабатывать управляющие воздействия на ТСО. Такие методы не эффективны в силу аналитической записи математических

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 11-07-0384 «Метод многоуровневого моделирования алгоритмов управления технологическими процессами в сложных системах».

моделей управляемого объекта, невозможности быстро изменять значения первичных параметров, вводить новации в объект, добавляя или заменяя компоненты, а также изменяя его топологию.

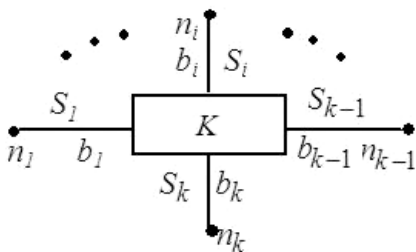
Наиболее эффективным методом исследования и прогнозирования поведения объекта с целью определения необходимых управляющих воздействий является его компьютерное моделирование, позволяющее представить объект в виде совокупности взаимосвязанных элементов и автоматически сформировать его модель на основе моделей входящих в него компонентов и связей между ними [1]. К таким методам относится метод компонентных цепей (МКЦ) [2], лежащий в основе среды моделирования MAPS [3]. Данный метод позволяет сформировать компьютерную модель для исследуемого объекта, подлежащего декомпозиции на отдельные элементы, каждому из которых ставится определенная модель, называемая компонентом, и произвести его анализ в статическом и динамическом режимах.

Компьютерная модель технически сложного объекта в формате метода компонентных цепей

Компьютерной моделью (КМ) технически сложного объекта в формате МКЦ, допускающего декомпозицию на связанные элементы [4], является его компонентная цепь (КЦ):

$$C_0 = (K_0, B_0, N_0), \quad (1)$$

где K_0 – множество компонентов; B_0 – множество связей (ветвей); N_0 – множество узлов цепи.



Каждый компонент множества K_0 обладает множеством параметров P_0 и множеством связей S_0 . Общий вид компонента показан на рис. 1. Каждая связь множества S_0 может быть связью одного из следующих типов:

элементарного, согласно которому каждой элементарной связи S_{Ej} ставится в соответствие пара топологических координат – полюс n_j и ветвь b_j с потенциальной V_{nj} и потоковой V_{bj} переменными;

информационного, предполагающего наличие у информационной связи S_{Ij} с парой топологических координат (n_j, b_j) одной потенциальной переменной V_{nj} ;

векторного, связь которого S_{vj} представляет вектор из нескольких элементарных и информационных связей.

Каждый компонент, являясь КМ элемента рассматриваемого объекта, формируется на основе четырех основных аспектов: геометрического, топологического, физического и математического, включает математическую модель (ММ), позволяющую описать протекающие в нем процессы совокупностью алгебро-дифференциальных уравнений, составленных относительно переменных его связей.

При соединении двух и более связей компонентов образуются узлы, каждому из которых соответствует линейная ММ, составленная в соответствии с ос-

новными топологическими законами:

равенства потенциальных переменных всех связей компонентов, присоединенных к одному узлу;

равенства нулю алгебраической суммы потоковых переменных всех связей, входящих в один узел.

Построение КЦ объекта C_O (1) заключается в преобразовании локальных координатных базисов (ЛКБ) каждого из компонентов ($n_1, n_2, \dots, n_k, b_1, b_2, \dots, b_k$) в глобальный координатный базис (ГКБ) КЦ ($N_1, N_2, \dots, N_n, B_1, B_2, \dots, B_b$). Моделирование объектов в МКЦ предполагает автоматическое построение ММ объекта на основе его КЦ, линеаризацию нелинейных и алгебраизацию дифференциальных уравнений, а также определение на основе методов линейной алгебры значений переменных связей всех компонентов, образующих вектор решения цепи $V = \begin{bmatrix} V_N \\ V_B \end{bmatrix}$.

Математическая модель объекта, соответствующая его КЦ C_O (1), вида:

$$M_C = \left[\begin{array}{c} \mathbf{U} M_{Ki} \cup \mathbf{U} M_{Nk} \\ i \qquad \qquad \qquad k \end{array} \right], \quad (2)$$

где M_{Ki} – множество математических моделей компонентов; M_{Nk} – множество математических моделей узлов цепи, может быть представлена в векторно-матричной форме:

$$\begin{bmatrix} \Phi_{KN} & \Phi_{KB} \\ 0 & \Phi_T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_N \\ V_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_K \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где Φ_{KN} , Φ_{KB} – матрицы коэффициентов компонентных уравнений при потенциальных и потоковых переменных; Φ_T – матрица коэффициентов топологических уравнений; W_K – вектор свободных членов компонентных уравнений.

Программно-алгоритмической основой МКЦ, в которой реализуются основные численные методы формирования системы уравнений, линеаризации ее нелинейных и алгебраизации дифференциальных уравнений, а также решения системы линейных алгебраических уравнений на каждом шаге анализа КЦ, является универсальное вычислительное ядро [5] среды МАРС. Оно позволяет выполнять основные виды статического и динамического анализа во временной и частотной области.

С целью применения МКЦ для построения КМ автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), протекающими в промышленных объектах добычи нефти и газа, проведем системный анализ и декомпозицию обобщенной структуры АСУ ТП.

Системный анализ и декомпозиция систем управления технологическими объектами добычи нефти и газа

В настоящее время в нефтегазовой промышленности применяются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), имеющие единую систему операторского управления ТП в виде одного или нескольких пультов управления.

Технически сложную систему (ТСС) данного типа, предназначенную для управления ТСО, взаимодействующим с объектами окружающей природной средой, в общем случае можно представить в виде, показанном на рис. 2.

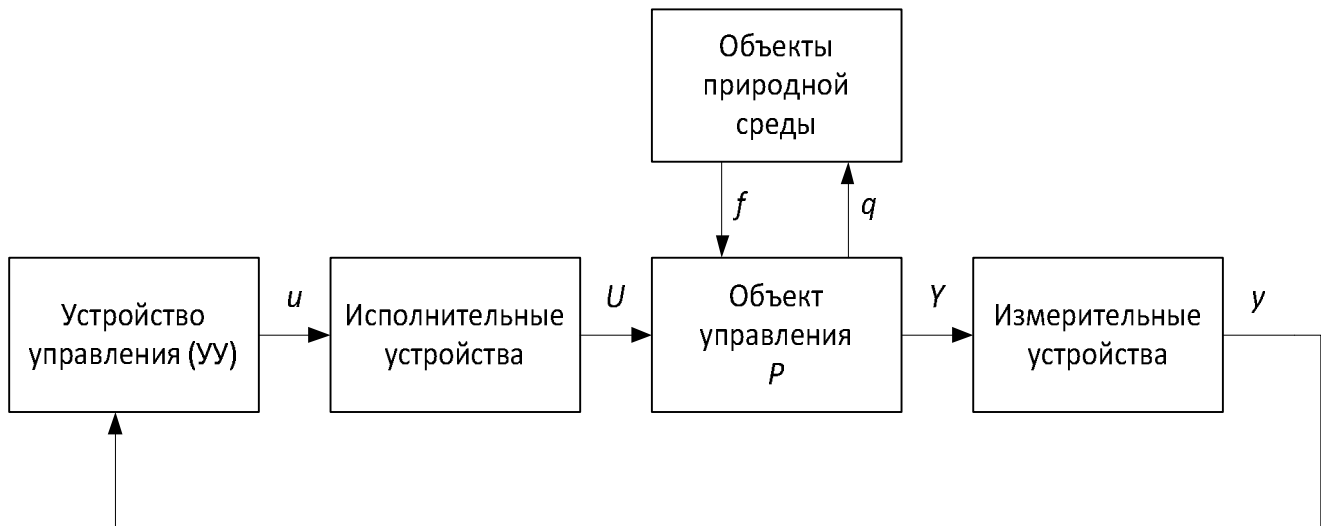


Рис. 2. Структурная схема технически сложной системы.

ТСС состоит из следующей совокупности соединенных объектов и устройств:

устройства управления (УУ), выполняющего с помощью средств вычислительной техники функции накопления, архивирования и визуализации результатов изменений наблюдаемых переменных объекта управления (ОУ). С помощью интерактивных средств управления оператор АСУ ТП имеет возможность управлять значениями параметров ОУ P с помощью информационных воздействий u ;

исполнительных устройств (ИУ), осуществляющих непосредственные энергетические воздействия U на ОУ, пропорциональные информационным сигналам УУ u ;

объекта управления (ОУ), в котором реализуются направленные на выпуск определенной продукции технологические процессы, переменные которых зависят от значений параметров его компонентов P и от характеристик *компонентов природной среды* f , оказывающих возмущающие воздействия на ОУ. Протекающие в ОУ процессы способны оказывать неблагоприятное воздействие на объекты природной среды q ;

измерительных устройств, выполняющих измерения наблюдаемых переменных Y и их преобразование в информационные сигналы y с целью передачи в УУ.

В рассматриваемой системе управления одновременно протекают взаимосвязанные динамические информационно-энергетические процессы. Причем процессы энергетического характера являются непрерывными во времени, а информационные могут иметь как непрерывный, так и дискретный характер. С целью их исследования, а также определения оптимальных значений параметров P^* и управляющих воздействий u^* , при которых в ОУ будет наблюдаться желаемый установившийся режим функционирования, построим компьютерную модель ТСС (2) и ее структурно-матричную модель (3) в формате МКЦ.

Компьютерная модель технически сложной системы в формате метода компонентных цепей

Для построения КЦ исследуемой системы, которой в данном случае является ТСС, необходимо каждому ее объекту и устройству поставить в соответствие компонент или компонентную подцепь (1), описывающую его в формате МКЦ.

ОУ, между элементами которого протекают энергетические и вещественные потоки, может быть представлена КЦ C_O вида (1), если каждому его элементу может быть поставлена в соответствие модель – компонент, описывающий его в формате МКЦ. Такой КЦ соответствует векторно-матричная модель вида (3), вектор решения которой включает в себя все его потенциальные V_{NO} и потоковые V_{BO} переменные:

$$V_O = [V_{NO}, V_{BO}]. \quad (4)$$

Для отображения в модели ОУ возмущающих воздействий со стороны внешней природной среды используются компоненты-источники возмущающих воздействий, образующие множество $K_W \subset K_O$ каждый из которых можно описать обобщенной математической моделью:

$$V_W = f_W(t), \quad (5)$$

где $V_W = [V_{NW} \subset V_{NO}, V_{BW} \subset V_{BO}]$ – вектор значений возмущающих факторов, отображающий в модели вектор параметров и характеристик окружающей природной среды f ; $f_W(t)$ – функция времени, характеризующая возмущающие воздействия.

Для измерения значения наблюдаемых переменных Y , носящих энергетический характер, и их преобразования в информационные сигналы y в КЦ объекта C_O входят измерительные компоненты K_Z . Каждый из них может измерять либо значения потенциальной $V_{Ni} \subset V_{NO}$, либо потоковой $V_{Bi} \subset V_{BO}$ переменной на каждом шаге моделирования. Обобщенную модель измерительных компонентов можно представить в виде:

$$f_Z(V_i) - V_Z = 0, \quad (6)$$

где $V_i = [V_{Ni}, V_{Bi}]$ – вектор потенциальных и потоковых переменных, принадлежащих компоненту $K_Z \subset C_O$. Вектор V_i КЦ C_O соответствует вектору измеряемых в ТСС переменных Y (рис. 2): $V_i : \Leftrightarrow Y$; $V_Z : \Leftrightarrow y$ – вектор результатов функций измерения, причем $V_Z \not\subset V_O$; f_Z – функция измерения, реализуемая в компоненте множества K_Z , в общем случае может иметь сложный нелинейный характер, предполагающий как непосредственное измерение текущих значений переменных, так и их обработку, основанную на численных методах анализа данных и записанную как в аналитической, так и в алгебраической форме.

Измеренные в модели текущие значения наблюдаемых переменных ОУ V_Z используются компонентами-контроллерами множества $K_C \not\subset K_O$, предназначенными для построения компьютерной модели УУ C_C в формате МКЦ. Эти компоненты можно описать обобщенной математической моделью вида:

$$f_u(V_Z) - V_u = 0, \quad (7)$$

где $V_u \notin V_O$ – вектор информационных сигналов, отражающих в КЦ ТСС информационные сигналы u ; f_u – в общем случае нелинейная функция преобразования результатов измерений V_Z в информационные сигналы управления, вырабатываемые УУ и посылаемые им на исполнительные устройства.

Для осуществления пропорциональных информационным сигналам УУ силовых энергетических воздействий на ОУ используются ИУ, отображающиеся в модели ТСС компонентами-преобразователями множества $K_p \notin K_O$ с обобщенной математической моделью

$$f_p(V_u) - V_p = 0, \quad (8)$$

где $V_p = P$ – вектор значений параметров компонентов ОУ; f_p – функция преобразования управляющих воздействий V_u в значения параметров P компонентов K_O . Такая функция имеет в общем случае нелинейный вид относительно переменных V_u .

Таким образом, математическая модель ТСС, включающая множество компонентов $K_S = [K_O \cup K_Z \cup K_W \cup K_C]$, может быть представлена в виде:

$$M_C = \left[\bigcup_i M_{KCi} \cup \bigcup_k M_{Nk} \right], \quad (9)$$

с соответствующей векторно-матричной моделью:

$$\begin{bmatrix} \Phi_{KN} & \Phi_{KB} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi_T & 0 & 0 & 0 \\ \Phi_{ZN} & \Phi_{ZB} & \Phi_{Z1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Phi_{Z2} & \Phi_{U1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Phi_{U2} & \Phi_{P1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{NO} \\ V_{BO} \\ V_Z \\ V_u \\ V_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_K \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где Φ_{ZN} – матрица коэффициентов в математических моделях (6) измерительных компонентов множества K_Z при потенциальных переменных V_{NO} ; Φ_{ZB} – матрица коэффициентов в математических моделях (6) измерительных компонентов множества K_Z при потоковых переменных V_{BO} , полученные в результате линеаризации уравнений модели; Φ_{Z1} – матрица коэффициентов в математических моделях вида (6) измерительных компонентов множества K_Z при измерительных переменных V_Z ; Φ_{Z2} – матрица коэффициентов в математических моделях вида (7) компонентов-контроллеров множества K_C при измерительных переменных V_Z , полученные в результате линеаризации данных уравнений; Φ_{U1} – матрица коэффициентов в математических моделях вида (7) компонентов-контроллеров множества K_C при переменных, характеризующих подаваемые на исполнительные устройства информационные сигналы; Φ_{U2} – матрица коэффициентов в математических моделях ИУ вида (8) при переменных информационных сигналов, полученные в результате линеаризации их моделей; Φ_{P1} – матрица коэффициентов в математических моделях ИУ вида (8) при переменных вектора V_p .

Таким образом, построенная в формате МКЦ компьютерная модель ТСС, в которой производится наблюдение за несколькими характеристиками ОУ, выра-

женными потенциальными и потоковыми переменными его модели, и управление несколькими параметрами его компонентов описывается системой нелинейных алгебро-дифференциальных уравнений. При этом в случае, если ОУ удастся описать моделью линейных алгебро-дифференциальных уравнений, в общую модель ТСС нелинейность будут вносить модели других ее блоков: измерительных устройств, устройства управления и исполнительно-преобразовательных устройств.

Для повышения эффективности процесса принятия управленческих решений, что является актуальной задачей для современных ТСО, к классу которых относятся промышленные объекты добычи и первичной переработки нефти и газа, требуется упростить модель ТСС. Для этого нужно выделить из нее блоки, допускающие свое представление в явной форме, и реализовать аппарат обмена информацией между блоками, не прибегая к построению единой системы уравнений.

Принцип разделения моделей компонентов технически сложной системы

В силу вида уравнений (6), (7) и (8) матрицы Φ_{Z1} , Φ_{U1} и Φ_{P1} модели (10) будут иметь вид отрицательной диагональной единичной матрицы

$$-I = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Из полученного на основе такой матрицы матричного уравнения

$$\Phi \cdot V_1 - I \cdot V_2 = 0, \quad (12)$$

элементы вектора V_2 могут быть определены в явном виде:

$$V_2 = \Phi \cdot V_1 \cdot I^{-1}. \quad (13)$$

Матричное уравнение (13) может быть представлено совокупностью независимых нелинейных алгебраических уравнений, каждое из которых позволит определить конкретный элемент вектора V_2 .

В этом случае более эффективным является представление уравнений (6), (7) и (8) в явном виде (13) и реализация математических выражений для вычисления значений V_Z , V_w , V_P непосредственно в компонентах множеств K_Z , K_C , K_P . Для обмена информацией между компонентами этих множеств и множества K_O может быть применен способ обмена информацией, основанный на формировании, пересылке и обработке сообщений. Таким способом может являться алгоритм передачи сообщений, аналогичных интерфейсу передачи сообщений между компьютерами, образующими один кластер при решении задач параллельного программирования [6].

Алгоритм передачи сообщений

Алгоритм передачи сообщений представляет собой программно-инструментальный аппарат, реализованный в имитационном ядре среды MAPC, в котором в формате МКЦ реализуются методы имитационного моделирования ал-

горитмов. Их работа основана на обмене данными различных типов в виде сообщений соединенными друг с другом компонентами.

На основе алгоритма передачи сообщений организована работа блоков функционирования виртуальных инструментов и приборов [7]. Он также может лежать в основе моделирования информационных процессов между основными блоками ТСС.

Алгоритмы функционирования ТСС могут быть представлены имитационными КЦ вида:

$$C_A = (K_A, B, N, M), \quad (14)$$

где K_A – множество компонентов алгоритмов, включающие компоненты множеств K_Z , K_C и K_P , в множество K_A также будут входить компоненты-средства визуализации результатов моделирования K_V и компоненты, предназначенные для интерактивного пользовательского управления параметрами исследуемой модели множества K_I , т.е.

$$K_A = (K_Z, K_C, K_P, K_V, K_I); \quad (15)$$

B – множество ветвей КЦ, образованных связями компонентов; N – множество узлов цепи C_A ; M – множество передаваемых по связям сообщений с данными, полученными на основе математической модели компонента:

$$Y = F(P_A, X), \quad (16)$$

где P_A – параметры компонента множества K_A ; X – входные данные компонента множества K_A .

Каждый компонент множества K_A представляет собой совокупность множеств:

$$K_A = (P_A, b, n, M), \quad (17)$$

где P_A – набор параметров компонента, которые не зависят от данных, принятых в сообщении; b – массив номеров ветвей компонента, заданных в ЛКБ компонента; n – массив полюсов компонента в ЛКБ, предназначенных для образования связей с другими компонентами; M – массив сообщений, размер которого соответствует количеству ветвей компонента.

Каждая ветвь b_j , заданная в ЛКБ компонента множества K_A , идентифицируется своим уникальным номером B_j в ГКБ КЦ (14), хранящимся в массиве B размером CB .

Каждый полюс множества n компонента K_A может быть соединен только с одним узлом N_j цепи C_A , заданный в ее ГКБ. Набор номеров всех узлов в ГКБ представляется массивом номеров узлов N размером CN .

Каждое сообщение множества M представляется в виде:

$$M = (D, T, B, N),$$

где D – данные любого типа, передаваемые в сообщении между компонентами; T – тип передаваемых в сообщении данных; B – номер ветви в ГКБ цепи (14), с которой передается сообщение M узлу N ; N – номер узла в ГКБ КЦ (14), которому передается сообщение.

Процесс формирования и отправки компонентом сообщения производится в ряде случаев, называемых *срабатыванием компонента*.

Срабатывать определенный компонент множества K_A может в следующих

случаях:

во время запуска или останова эксперимента, а также начала и завершения очередного вычислительного эксперимента при решении задач, основанных на многовариантном анализе модели объекта;

если пришло сообщение хотя бы на один из его входов от других компонентов множества K_A ;

если пришли сообщения на каждый из входов компонентов;

если произошло взаимодействие с визуальным образом компонента, предназначенного для визуализации результатов эксперимента или для интерактивного управления параметрами компонентов множества K_O (1).

В перечисленных случаях выполняется алгоритм передачи сообщений (рис. 3), реализуемый в имитационном ядре среды MAPC. Алгоритм построен на основе анализа топологических свойств компонентов множества K_A , которые описываются узловой матрицей A размером $CN \times CB$, формируемой по следующему правилу

$$A_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{если ветвь } i \text{ инцидентна узлу } i, \\ 0 & \text{если ветвь } i \text{ не инцидентна узлу } i, \end{cases} \quad (18)$$

где $i = \overline{1, CB}$ – номер соответствующей ветви; $j = \overline{1, CN}$ – номер узла.

Алгоритм передачи сообщений (рис. 3), позволяющий передавать данные различных типов между компонентами, математические модели которых могут быть записаны в явном виде, реализуется в имитационном ядре среды MAPC.

Во время запуска на моделирование один раз для всех алгоритмов производится формирование узловой матрицы A для компонентов множества $K_A \subset C_A$ (14).

В компоненте, в котором произошло срабатывание, формируется сообщение M (17), содержащее всю необходимую для передачи информацию $M.D$ типа $M.T$. Также указываются топологические признаки: ветвь $M.B$, с которой отправляется сообщение, и узел $M.N$, которому передается сообщение M .

Путем проверки всех элементов столбца $M.N$ матрицы A на равенство 1 производится выявление всех ветвей NB , которые подключены к узлу с номером $M.N$. При обнаружении каждой такой ветви с помощью функции *SearchComponent* производится поиск компонента $K1$, которому принадлежит ветвь с номером NB , заданном в ГБК цепи C_A (14).

С целью передачи сообщения M на определенную связь компонента с помощью функции *NumberLKB* производится поиск номера nb в ЛКБ компонента $K1$, соответствующего номеру NB в ГБК цепи. После чего путем операции присваивания $K1.M[nb] = M$ производится непосредственная передача сообщения присоединенному к узлу $M.N$ компоненту. Данный алгоритм заканчивает работу после того, как были просмотрены все элементы столбца с номером $M.N$ матрицы A .

С целью реализации данного алгоритма рассмотрим программно-алгоритмическую структуру обобщенного компонента множества K_A и его связь с блоком моделирования процесса передачи сообщений.

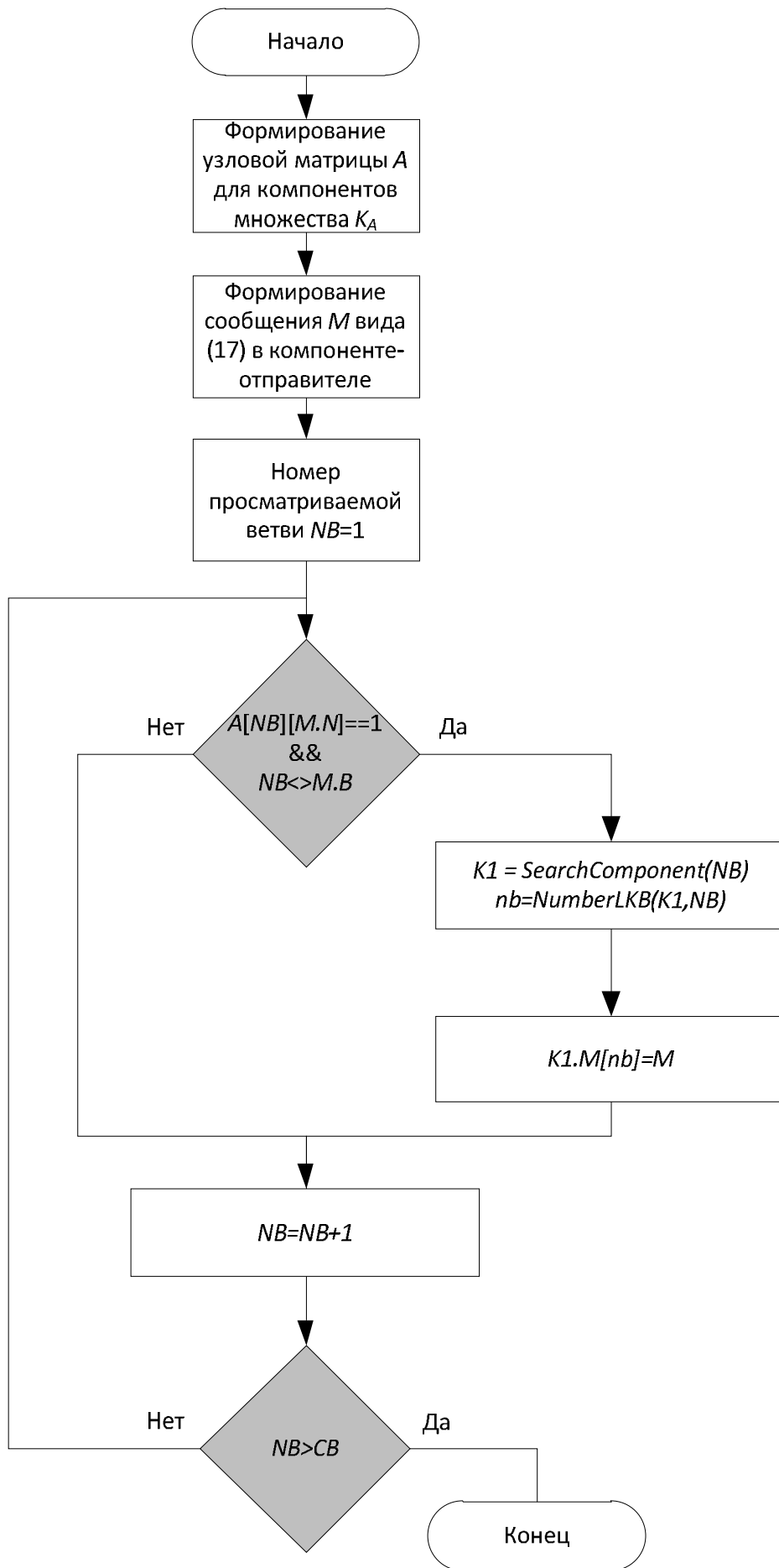


Рис. 3. Алгоритм передачи сообщений.

Программно-алгоритмическая структура компонента для формирования алгоритмов системы управления

Согласно МКЦ каждый компонент множества K_A , из которых формируются алгоритмы функционирования АСУ ТП, представляет собой совокупность топологического и функционального блоков. Топологический блок включает в себя информацию обо всех связях данного компонента, предназначенных для обмена сообщениями с другими компонентами множества K_A , а также об узлах, позволяющих организовать соединения с ними. Функциональный блок представляет собой функции преобразования входных данных компонента в выходные. Все компоненты данного множества должны взаимодействовать с имитационным ядром, в рамках которого реализуется алгоритм передачи сообщений (рис. 3).

Наиболее подходящим методом программной реализации такой архитектуры структуры, содержащей компоненты и алгоритмы их взаимодействия, является объектно-ориентированное программирование (ООП). Согласно ей каждый объект, являющийся экземпляром некоторого класса, обладает свойствами и содержит методы их преобразования. Механизм наследования ООП позволяет создавать иерархии классов, в которых имеются одноименные функции, реализующие уникальные для каждого компонента алгоритмы.

С точки зрения ООП каждый компонент представляется совокупностью топологического и функционального блоков (рис. 4).



Рис. 4. Структура алгоритмических компонентов и их связь с имитационным ядром.

Топологический блок каждого компонента включает в себя информацию обо всех связях компонента $s_j = (n_j, b_j)$, с помощью которых организуются соединения с другими компонентами, и преобразование топологических координат компонента из локального в глобальный координатный базис $S_j = (N_j, B_j)$. На основе ГKB всех компонентов, входящих в рассматриваемую КЦ, формируется ее *топологический блок*, включающий в себя узловую матрицу A . На ее основе в имитационном ядре реализуется алгоритм передачи сообщений между компонентами КЦ S_A .

Функциональный блок компонентов множества K_A включает в себя реализацию функций приема сообщений, обработки содержащихся в них данных, а также методов формирования и отправки сообщений. В него входят также функции обработки реакции срабатывания компонента. С целью взаимодействия с имитаци-

онным ядром определенные функции всех компонентов должны иметь одинаковые прототипы, совокупность которых представляет собой *функциональный блок* компонентной цепи.

Компоненты множества K_A , у которых реализуются лишь функции приема и обработки сообщений, будут называться *компонентами-приемниками*. К ним относят компоненты, предназначенные для параметризации компонентов множества K_O (1), а также компоненты-средства визуализации результатов моделирования K_V .

В *компонентах-источниках* реализуются функции обработки всех видов срабатываний и преобразования визуальной информации в данные, предназначенные для передачи. К таким компонентам относятся компоненты-преобразователи параметров K_P (8) и компоненты интерактивного пользовательского управления исследуемой моделью K_I (15).

В *компонентах-преобразователях* должны быть реализованы как функции преобразования входной информации, поступающей в компонент по совокупности входных связей, так и функции формирования выходной информации, предназначенной для пересылки компонентам, подключенным к выходным полюсам данного компонента.

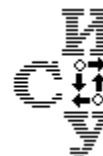
Описанная совокупность функций компонентов достаточна для взаимодействия каждого компонента с имитационным ядром (рис. 4), реализующим алгоритм передачи сообщений между компонентами построенной в формате МКЦ.

Заключение

Построение программно-алгоритмического аппарата компьютерного анализа процессов в сложных системах, направленных на управление технически сложными объектами, взаимодействующими с объектами окружающей среды, является актуальной задачей. Построенная в формате МКЦ компьютерная модель ТСС, которой является АСУ ТП объектов добычи и первичной переработки нефти и газа, позволит исследовать энергетические процессы, протекающие в технически сложных объектах управления, а также моделировать информационные процессы системы управления. Разделение моделей компонентов на энергетическую часть, представленную системой алгебро-дифференциальных уравнений, и информационную, основанную на механизмах имитационного моделирования, значительно повысит эффективность и быстродействие анализа процессов за счет понижения класса системы уравнений, представленной в неявном виде. При этом откроется возможность реализации более сложных алгоритмов управления, использующих как текущие значения наблюдаемых переменных, так и накопленную историю их изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Перегудов В.И., Тарасенко Ф.П.* Основы системного анализа: Учебник. – Изд. 2-е изд., – Томск: Изд-во научно-технической литературы, 1997.
2. *Дмитриев В.М., Арайс Л.А., Шутенков А.В.* Автоматизация моделирования промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1995.



3. *Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Зайченко Т.Н., Ганджа Т.В.* MAPC – среда моделирования технических устройств и систем – Томск: В-Спектр, 2011.
4. *Ганджа Т.В.* Формализованное представление технически сложного объекта с компьютерной моделью в контуре управления // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2012. – № 2. – С. 29-35.
5. *Дмитриев В.М., Шутенков А.В., Ганджа Т.В.* Универсальное вычислительное ядро для реализации виртуальных лабораторий // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2004. – № 2. – С. 24-28.
6. MPI: A Message-Passing Interface Standard. Version 2.1. Message Passing Interface Forum. June 23, 2008. – 586 P. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mpi-forum.org/docs/mpi21-report.pdf>, свободный.
7. *Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Коротина Т.Ю.* Редактор виртуальных инструментов и приборов. // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2009. – № 6. – С.19–24.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.

E-mail:

Дмитриев Вячеслав Михайлович – of045@mail.ru;

Ганджа Тарас Викторович – gandgatv@gmail.com.

УДК 519.622

© 2012 г. **Е.А. Новиков**, д-р физ.-мат. наук
(Институт вычислительного моделирования ИВМ СО РАН, Красноярск),
Л.В. Кнауб, канд. физ.-мат. наук,
А.Е. Новиков
(Сибирский федеральный университет, Красноярск)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРЕГОНАТОРА ТРЕХСТАДИЙНЫМИ ЯВНЫМИ МЕТОДАМИ*

Описан алгоритм формирования дифференциальных уравнений химической кинетики. Численное моделирование модифицированного орегонатора проведено алгоритмом переменного порядка и шага на основе явных методов с расширенными областями устойчивости.

Ключевые слова: химическая кинетика, орегонатор, жесткая задача, контроль точности и устойчивости.

Введение

Моделирование кинетики химических реакций применяется при исследовании разнообразных химических процессов [1 – 4]. Предмет изучения – временные зависимости концентраций реагентов, которые являются решением дифференци-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 11-01-00106).