УДК 519.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ МНОГОЗНАЧНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Л.Г. Ситник
Сумский областной институт последипломного педагогического образования

Разрабатываются методы построения обратимых переключательных цепей первого рода, характеризующиеся высокой надежностью, для многозначных неоднородных кодов на базе предикатно-гибридной логики с целью последующего применения для синтеза цифровых устройств.

В последнее время предложены принципы построения многозначных элементов, ориентированные на использование достижений современной интегральной технологии [1]. Наибольшее распространение получили многозначные элементы (МЭ), построенные по принципу базиса с преобразованием информационных признаков сигналов [2]. Один класс таких элементов с промежуточным преобразованием информационного признака динамического характера (т.е. каждому символу алфавита ставится в соответствие некоторая непериодическая последовательность) имеет ограниченное применение. Другой класс – с пространственным промежуточным представлением информации (т.е., когда каждому символу алфавита ставится в соответствие особое состояние в одной из точек некоторого пространства) – в большей мере отвечает требованиям вычислительной техники и современных автоматизированных информационных и интеллектуальных систем. При этом в большинстве работ, посвященных разработке методов синтеза цифровых устройств, авторы используют математические аппараты булевой алгебры и многозначной логики [3, 4]. Однако специфика исследования, в качестве которого выступают математические модели естественного языка [5, 6], указывает на нецелесообразность применения таких аппаратов. Это следует из того, что алгебра логики оперирует только с двоичными символами, а аппарат многозначной логики, хотя и направлен на обработку непосредственно буквенной информации, не позволяет описывать отношения, являющиеся основной категорией описания естественного языка и его фрагментов.

В статье предлагается метод синтеза обратимых переключательных цепей первого рода на случай неоднородных кодов, заданных предикатными уравнениями.

Как отмечалось в работе [7], в качестве основного инструментария математического описания конечных объектов выступает понятие конечного алфавитного оператора. При этом данное понятие служит хорошим средством для математического описания деятельности интеллекта, то есть тех реакций интеллекта, которые наблюдаются объективно. Правильный выбор же исходной и промежуточных форм представления конечных алфавитных операторов (КАО), с одной стороны, позволяет решить задачу построения элементов и устройств с предельным структурным быстродействием, с другой стороны, – вооружает нас единообразным и универсальным приемом решения предикатных (логических) уравнений алгебры конечных предикатов (АКП). Известны различные способы аналитического представления алфавитных операторов. Их целесообразно разбить на два класса: методы явного и неявного способов задания операторов. Для достижения цели и задач настоящей работы более предпочтителен второй способ, исследование и применение которого изложены ниже.

Рассмотрим алфавитный оператор вида $y_1 y_2 ... y_n = G(x_1, x_2, ..., x_m)$, который можно представить в виде канонического уравнения

$$g(x_1, x_2, ..., x_m, y_1, y_2, ..., y_n) = 1\,. \tag{1}$$

При этом

$$g(x_1, x_2, ..., x_m, y_1, y_2, ..., y_n) = \begin{cases} 1, \text{ если } & y_1 y_2 ... y_n = G(x_1, x_2, ..., x_m) \\ 0, \text{ если } & y_1 y_2 ... y_n \neq G(x_1, x_2, ..., x_m) \end{cases}. \tag{2}$$

Это уравнение является реакцией оператора G на входное слова длиной m; результат – выходное слово длиной n. В случае вычисления значения отдельных букв выходного слова $y_1 y_2 ... y_n$ требуется задать конечные алфавитные операторы $G_1, G_2, ..., G_k$, формирующие отдельные буквы $y_1, y_2, ..., y_n$ выходного слова:

$$\begin{aligned} y_1 &= G_1(x_1, x_2, ..., x_m), \\ y_2 &= G_1(x_1, x_2, ..., x_m), \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ y_n &= G_n(x_1, x_2, ..., x_m). \end{aligned} \tag{3}$$

При этом алфавитные операторы $G_i\left(i=\overline{1,n}\right)$ можно записать также в виде уравнений типа (1):

$$\begin{aligned} q_1(x_1, x_2, ..., x_m, y_1) &= 1, \\ q_2(x_1, x_2, ..., x_m, y_2) &= 1, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ q_n(x_1, x_2, ..., x_m, y_n) &= 1. \end{aligned} \tag{4}$$

Таким образом, очевидна связь между формулами (1) и (4), которая может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} & g(x_1, x_2, ..., x_m, y_1, y_2, ..., y_n) = g_1(x_1, x_2, ..., x_m, y_1) \wedge \\ & \wedge g_2(x_1, x_2, ..., x_m, y_2) \wedge ... \wedge g_n(x_1, x_2, ..., x_m, y_n) \end{aligned}. \tag{5}$$

Ограничив область изменения буквенной переменной y значениями $a_1, a_2, ..., a_k$, свяжем ее уравнением

$$y^{a_1} \vee y^{a_2} \vee ... \vee y^{a_k} = 1\,. \tag{6}$$

С учетом такого ограничения любой конечный алфавитный оператор вида $y = Q(x_1, x_2, ..., x_m)$, заданный уравнением

$$q(x_1, x_2, ..., x_m, y) = 1\,, \tag{7}$$

можно записать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} q\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_1\right) = y^{a_1}, \\ q\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_2\right) = y^{a_2}, \\ \text{.................................} \\ q\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_k\right) = y^{a_k}. \end{cases} \tag{8}$$

В силу однозначности алфавитного оператора Q корень уравнения (7) a_i ($1 \le i \le k$) – единственный.

Тогда очевидно, что уравнение (7) и система уравнений (8) – равносильны. Таким образом, алфавитный оператор Q можно легко представить в виде системы уравнений:

$$\begin{gathered} q_1\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_{11}\right) = y_1^{a_{11}}, \\ q_1\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_{12}\right) = y_1^{a_{12}}, \\ q_1\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_{1k_1}\right) = y_1^{a_{1k_1}}, \\ q_2\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_{21}\right) = y_2^{a_{21}}, \\ q_2\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_{22}\right) = y_2^{a_{22}}, \\ \text{.......................................} \\ q_2\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_{2k_2}\right) = y_2^{a_{2k_2}}, \\ \text{.......................................} \\ q_1\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_{2k_2}\right) = y_1^{a_{2k_2}}, \\ q_n\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_{n2}\right) = y_n^{a_{n2}}, \\ \text{.......................................} \\ q_1\left(x_1, x_2, ..., x_m, a_{2k_2}\right) = y_1^{a_{2k_2}}. \end{gathered} \tag{9}$$

Здесь области изменения переменных $y_i\left(i = \overline{1, n}\right)$ ограничены множествами букв $M_i = \left\{a_{i1}, a_{i2}, ..., a_{ik_i}\right\}$, где k_i – количество букв во множестве M_i. Система (9) задает алфавитный оператор G в явной форме и допускает непосредственное вычисление букв входного слова в отличие от формы (1), требующей решения соответствующих уравнений. Задание алфавитного оператора в форме (9) служит отправным моментом при построении многозначных обратимых логических элементов, методы синтеза которых будут подробнее рассмотрены ниже.

Таким образом, для построения быстродействующих многозначных структур и элементов, реализующих конечные отношения, целесообразно использовать предикатно-гибридную логику [8], математической основой которой является АКП. Последняя обладает возможностью широкого распараллеливания обрабатываемой информации, включая ее значность ($k \geq 2$) и неоднородность [9] на уровне отдельных обратимых логических элементов, сохраняя при этом однородность на уровне создаваемых структур. Перспективность такого подхода основана на возможности использования современной интегральной технологии изготовления больших интегральных схем и применения современных принципов и методов синтеза многозначных обратимых неоднородных логических элементов и модулей с целью расширения их функциональных возможностей и повышения надежности.

Известно [10], что большинство задач математического моделирования процессов переработки человеком языковой информации основано на тех или иных способах решения логических (предикатных) уравнений. В отличие от существующих программных методов решения логических (лингвистических) уравнений более эффективными являются аппаратурные (схемные) методы, которые обладают предельным структурным быстродействием. Последнее обстоятельство обеспечивает возможность кодирования и обработки простейшей морфологической информации в реальном масштабе времени. Эффективность функционирования системы автоматической обработки информации на естественном языке зависит как от способа представления машинных словарей, способа кодирования данных в этих словарях, так и от методов преобразования естественной языковой информации, представленной на формальном языке (в данном случае − алгебре конечных предикатов).

Рассмотрим основные принципы построения предлагаемых в работе многозначных обратимых неоднородных ЛЭ первого и второго рода. Элементы первого типа реализуют заданное конечное отношение в виде соответствующего многозначного обратимого неоднородного (МОН) ЛЭ и являются по сути универсальными. Заметим, что под «обратимостью» следует понимать построенную по выражению (9) схему многозначного логического элемента. При этом схема наделяется *возможностью как* прямого, так и обратного преобразования информации И (ИЛИ) первого рода, которую будем схематично изображать так, как показано на рис. *1*, где − $k_1, k_2, \ldots, k_n$ соответственно значности переменных $x_i \left(i = \overline{1, n}\right)$, *а* $k = \min\left(\max\right)\left[k_1, k_2, \ldots, k_n\right]$; $2 \leq n < 10$, т.е. k−значность переменной z. Такой обратимый элемент совпадения (разделения) осуществляет решение следующего предикатного (логического) уравнения:

$$z = x_1 \circ x_2 \circ \ldots \circ x_n , \qquad (10)$$

где знак $\circ$ обозначает конъюнкцию или дизъюнкцию, используемую в многозначной логике. Общее число переменных в уравнении (2) равно $n+1$, а значность входящих переменных задается следующими уравнениями (законами истинности):

$$\begin{aligned} & x_1^0 \vee x_1^1 \vee \ldots \vee x_1^{k_1} = 1, \\ & x_2^0 \vee x_2^1 \vee \ldots \vee x_2^{k_2} = 1, \\ & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ & x_n^0 \vee x_n^1 \vee \ldots \vee x_n^{k_2} = 1 = 1, \\ & z^0 \vee z^1 \vee \ldots \vee z^k = 1. \end{aligned} \qquad (11)$$

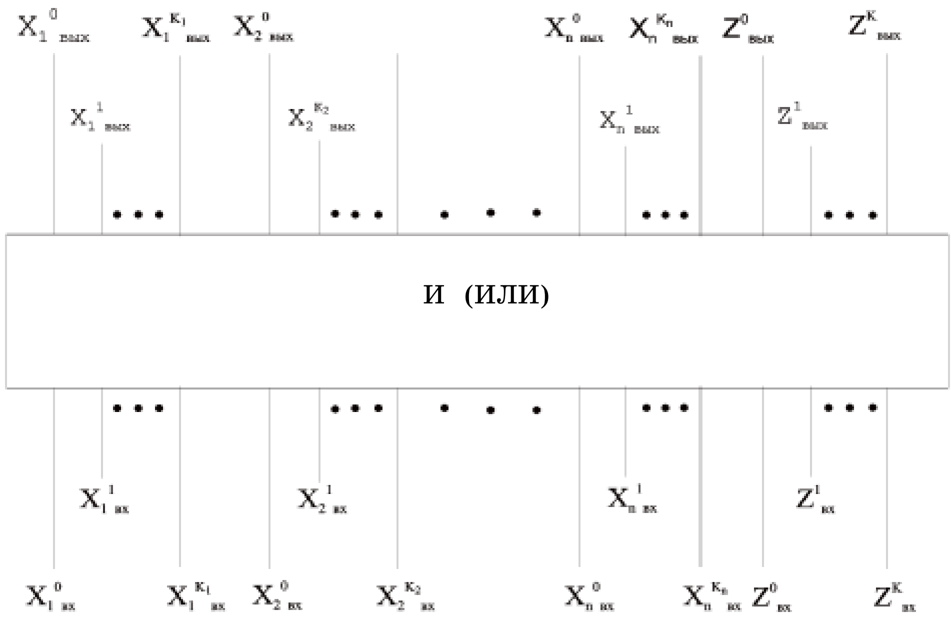

Рисунок 1 – Многозначный обратимый неоднородный логический элемент первого рода

Описанный подход позволяет создать следующий набор обратимых ЛЭ: $z = x_1 \cdot x_2$, $z = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \ldots$, $z = x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_m$ или $z = x_1 \vee x_2$, $z = x_1 \vee x_2 \vee x_3, \ldots$, $z = x_1 \vee x_2 \vee .. \vee x_m$, а также их комбинаций, например $z = x_1 \cdot x_2 \vee x_3$ или $z = (x_1 \vee x_2)x_3$. Заметим, что в качестве «начинки» обратимых элементов И (ИЛИ) первого рода используются только стандартные (обычные) элементы И (ИЛИ), например серии К150. Полученные же МОН ЛЭ первого рода обладают относительной простотой, универсальностью и, главное, полной пригодностью для исполнения в виде единой интегральной схемы. Заметим, однако, что область применения МОН ЛЭ первого рода практически (как показывают исследования в области создания МОН ЛЭ первого рода) ограничивается 6-10 переменными ($m < 10$) из-за роста аппаратурных затрат и необходимости анализа задач объекта исследования, а также суммарной значности исходных переменных. Потребность построения МОН ЛЭ с числом переменных более 10 обусловливает необходимость создания и исследования МОН ЛЭ второго рода. Их существенным отличием от МОН ЛЭ первого рода является «обратимость по частям». По сути, схема МОН ЛЭ второго рода повторяет структуру заданного многоместного отношения, которая может быть представлена в виде традиционной комбинационной схемы.

Продемонстрируем предлагаемые подходы построения МОН ЛЭ первого рода для приборной реализации произвольно заданного конечного отношения.

Пусть задано бинарное отношение конъюнкции

$$g = a \cdot b, \tag{12}$$

где $a \in \{0,1,2\}, b \in \{0,1,2,3\}$, а значность переменной g определяется на основании соотношения $g(a,b)=\min(a,b)$. Отношение (12) будем рассматривать как предикатное уравнение, связывающее переменные a,b и g. Данное уравнение представляет собой не только функцию конъюнкции (например, для k–значной конъюнкции многозначной логики), но и целый ряд других функциональных зависимостей. Заметим, что отличительным моментом для предикатных уравнений такого вида (в отличие от соотношений k–значной логики) является их неоднородность.

Таким образом, для данного подхода характерна возможность рассмотрения и анализа зависимостей вида $a \cdot g = b$ $(b \cdot g = a)$, которые могут быть исследованы на основе исходного бинарного отношения (12). Появляется возможность находить значение переменной g в зависимости от значений переменных a,b, а также значение переменной b – в зависимости от значений a и g (аналогично значение переменной a – в зависимости от значений b и g). В этом и заключается особенность построения обратимых переключательных цепей, способных вычислять значения какой-либо переменной в зависимости от значений других переменных, связанных с неизвестной заданным отношением. Ниже дадим интерпретацию задания известных и неизвестных переменных при аппаратурной реализации таких (предикатных) уравнений.

Покажем теперь, как компактно могут быть заданы таблицы истинности, задающие закон функционирования таких устройств. Исходное бинарное отношение представим в виде таблицы 1:

Таблица 1 – Таблица истинности в традиционном виде

N	a	b	g
1	0	0	0
2	0	1	0
3	0	2	0
4	0	3	0
5	1	0	0
6	1	1	1
7	1	2	1
8	1	3	1
9	2	0	0
10	2	1	1
11	2	2	2
12	2	3	2

В табл. 1 N – номера наборов отношения конъюнкции (12).

Из-за громоздкости построения традиционных таблиц предлагается следующая их модифицированная форма (табл. 2):

Таблица 2 – Модифицированная таблица истинности

$a \setminus b$	0	1	2	3
0	0	0	0	0
1	0	1	1	1
2	0	1	2	2

Таким образом, значения переменной g принимают те же 12 позиций на пересечении соответствующих строк и столбцов.

Фрагменты переключательной цепи, реализующей заданное отношение, приведены ниже на рис. 2.

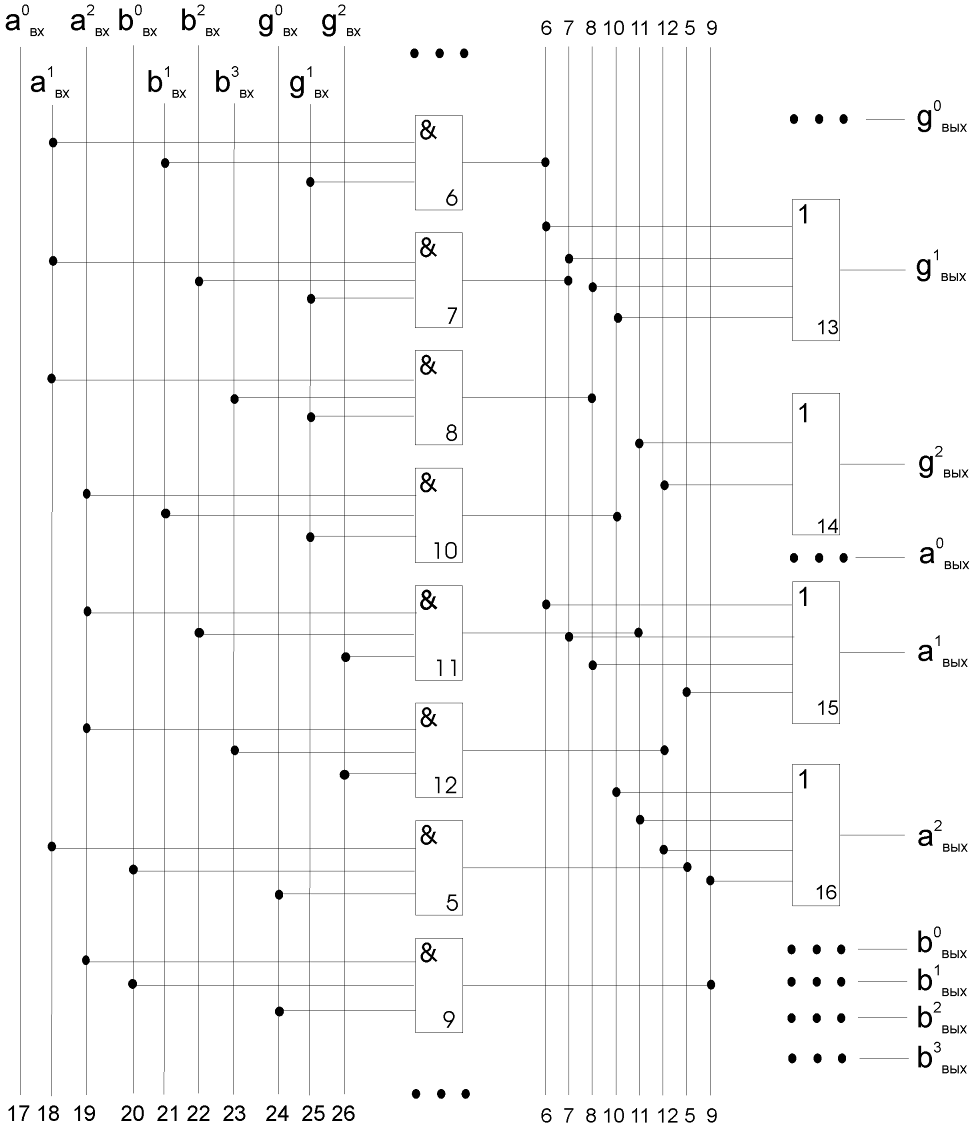

Рисунок 2 – Фрагмент МОН ЛЭ первого рода

При построении таких цепей будем считать, что если значения каких-либо переменных исходного предикатного уравнения не заданы, то на соответствующие входные шины цепи ($a^0_{вх}, a^1_{вх}, a^2_{вх}$ или $b^0_{вх}, b^1_{вх}, b^2_{вх}, b^3_{вх}$ или $g^0_{вх}, g^1_{вх}, g^2_{вх}$) следует подать значение логической единицы. Этим допускается любое значение данной переменной из области ее определения. Заметим, что появление логического нуля на всех входах (выходах) одной или нескольких переменных следует считать «ошибочным», т.е. данная ситуация, с точки зрения диагностики, сигнализирует о сбое в работе того или иного участка цепи. В свою очередь, отличительным моментом является свойство дублирования известных переменных своего значения на выходных шинах синтезируемой цепи. Это, с одной стороны, повышает надежность цепи с точки зрения одиночного моделирования неисправностей, когда по одиночной константной неисправности (появление комбинации «0» на всех шинах той или иной искомой или выходной переменной) возможно локализовать место и причины дефекта, а с другой стороны, является соответственно неявным тестовым диагностированием – реализует процесс определения технического состояния цепи по состоянию информации на выходных шинах известных (исходных) переменных. Аналогично могут быть аппаратно реализованы (в виде переключательной цепи первого рода) и отношения конъюнкции, содержащие более трех переменных различной значности.

Последнее утверждение в полной мере относится и к отношению дизъюнкции. Таким образом, в нашем арсенале появляется определенный набор «кирпичиков» – МОН ЛЭ, реализующих следующие предикатные уравнения: $y = a \cdot b$; $y = a \cdot b \cdot c$; $y = a \cdot b \cdot c \cdot d$ и т.д., где число переменных $n < 8 \div 10$ при их различной значности, а также – набор «кирпичиков», реализующих предикатные уравнения вида: $y = a \vee b$; $y = a \vee b \vee c$; $y = a \vee b \vee c \vee d$ и т.д., где число переменных $n < 8 \div 10$ при их различной значности.

ВЫВОДЫ

1 В работе предложена модификация традиционных таблиц истинности для многозначных неоднородных кодов, связанных предикатными уравнениями, позволяющая представлять эти таблицы в компактной форме.

2 Распространен метод синтеза обратимых переключательных цепей первого рода на случай неоднородных кодов, заданных предикатными уравнениями.

3 Разработанный подход открывает возможность создавать специализированную аппаратуру прямого и обратного действия повышенной надежности, что существенно при решении многих прикладных задач технической кибернетики и других смежных областей, в частности, при решении лингвистических задач грамматической обработки слов.

SUMMARY

There is development of construct reversible first kind switcher based chains witch characterized by high reliability, for multivalued heterogeneous codes based on predicate-hybrid logic with a view to applying for the synthesis of digital devices.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реализация многозначных структур автоматики / Под ред. М.А. Ракова. - Киев : Наук. думка, 1976. - 350 с.
2. Надежность многозначных структур /В.В. Григорьев, З.Д. Коноплянко и др. - К.: Наукова думка, 1981. - 176 с.
3. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем. М.:"Энергия", 1986. – 228 с.
4. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интелекта. – Ч.1: Математические средства. – Харьков: Вища школа, 1982. – 240 с.
5. Пиотровский Р.Г. , Апикина А. Б. Формальное распознавание смысла текста // Статистика речи и автоматического анализа текста. – М. : Наука, 1980. – С. 5-51.
6. Фролов Г.Д. Автоматическое преобразование с помощью ЭВМ русской письменной речи в устную // Проблемы кибернетики, 1974. – Вып. 28. – С. 245-269.
7. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. – Ч.1: Математические средства - Харьков: Вища школа, 1982. – 240 с.
8. Шимбирев П.Н. Гибридные непрерывно-логические устройства. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 174 с.

9. Четвериков Г.Г. Многозначные структуры (анализ, сравнение, синтез, обобщение). – Ч.1:Учеб. пособие.-К.:ИСМО,1997.-192 с.
10. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії синтезу надшвидкодіючих структур мовних систем штучного інтелекту: Монографія. - К.:ІЗМН, 1997. – 264 с.

Ситник Л.Г., преподаватель

Поступила в редакцию 3 июня 2008