

УДК 519.7:007.52

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ АВТОМАТОВ  
С ПОМОЩЬЮ НЕПРЕРЫВНОЙ ЛОГИКИ

В.И. Левин

ГОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия»;  
levin@pgta.ac.ru

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** конечный автомат; непрерывная логика; нечеткая логика; унификация формул.

**Аннотация:** Предложена методика упорядочения, классификации и унификации формул нечеткой (непрерывной) логики, описывающих динамические процессы в конечных автоматах. На примере класса автоматов без памяти с простейшими входными воздействиями показано, что методика позволяет существенно (в разы) сократить число необходимых формул.

---

## 1. Введение

В 1970-е годы автором была построена так называемая непрерывно-логическая теория динамического поведения конечных автоматов [1, 2]. Эта теория позволяла с помощью математического аппарата непрерывной (нечеткой) логики, адекватного динамике автоматов, находить в аналитической форме динамические процессы на выходах автоматов любой сложности, являющиеся откликами на заданные воздействия по их входам. В рамках развития теории были получены многочисленные логико-математические формулы, позволяющие вычислять динамические процессы в различных схемах автоматов, анализировать их, синтезировать необходимую их форму и т.д. [3–5]. Число накопленных конкретных формул стало довольно большим, что затруднило работу по выбору подходящей готовой формулы, возникающую каждый раз, когда приходилось изучать динамические процессы в очередной новой автоматной схеме. Это побудило рассмотреть проблему гармонизации всей теории путем упорядочения, классификации и унификации имеющейся номенклатуры формул динамических процессов в автоматах, с тем чтобы при изучении динамики каждой новой схемы автомата быстро подобрать необходимую для изучения формулу либо убедиться, что таковой нет, и ее следует заново вывести.

## 2. Постановка задачи

Рассмотрим произвольный логический  $(n, m)$ -полюсник из произвольных двоичных логических элементов, на  $n$  входов которого поданы простейшие, однократные переключения сигнала в виде  $1 \rightarrow 0$  или  $0 \rightarrow 1$ , с указанием в буквен-

ной форме моментов этих переключений. Пусть необходимо найти динамические процессы, то есть последовательности переключений  $1 \rightarrow 0$  и  $0 \rightarrow 1$  на всех  $m$  выходах заданной логической схемы, причем сделать это в аналитической форме. В теории динамики конечных автоматов эта и другие подобные ей задачи решаются в принципе просто с помощью набора формул, задающих вход-выходные динамические соотношения всех элементов изучаемой схемы при всех возможных вариантах переключений сигналов на их входах [2, 4, 5]. Однако число формул в наборе может оказаться достаточно большим. Это, с одной стороны, создаст некоторые практические неудобства при расчетах динамики конкретных логических схем, а с другой, – придает разработанной ранее динамической теории конечных автоматов некоторую незаконченность. В связи с этим возникает важная и актуальная задача упорядочения, классификации и унификации имеющейся номенклатуры формул, описывающих вход-выходные динамические соотношения различных элементов логических схем. Это можно сделать путем интеллектуализации [6] имеющейся теории динамики автоматов. Результатом этой работы должно стать выделение целых классов однородных формул, где каждый класс полностью определяется одной формулой-представителем, из которой можно получить все остальные его формулы. Такая классификация и унификация формул должна сделать динамику автоматов более гармоничной наукой, а практические расчеты в ней – более простыми. Отметим, что различные формулы, объединяемые в один и тот же класс, не являются физически эквивалентными: они относятся к различным логическим элементам и различным воздействиям на их входы. Объединение различных формул в один класс определяется только формально – наличием единого алгоритма, позволяющего из одной формулы этого класса получить все остальные.

### 3. Динамические процессы в дизъюнкторе и конъюнкторе при однородных входных воздействиях

Следуя [1–5], введем обозначения:  $0'_a$  – изменение сигнала  $1 \rightarrow 0$  в момент  $a$ ;  $1'_a$  – изменение сигнала  $0 \rightarrow 1$  в момент  $a$ ;  $1(a, b) = 1'_a 0'_b$  – единичный импульс на интервале  $a \leq t < b$ ;  $0(a, b) = 0'_a 1'_b$  – нулевая пауза в интервале  $a \leq t < b$ . Рассмотрим  $n$ -входовый элемент-дизъюнктор, реализующий в статике на выходе  $y$  булеву логическую дизъюнкцию своих входов  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$

$$y = \bigvee_{i=1}^n x_i. \quad (1)$$

Пусть теперь на всех входах дизъюнктора действуют однородные динамические сигналы в виде однократных переключений  $0 \rightarrow 1$ , то есть  $x_i(t) = 1'_{a_i}$ ,  $i = \overline{1, n}$ . Тогда динамический процесс на выходе дизъюнктора будет иметь вид такого же переключения, совершаемого в момент  $t = \bigwedge_{i=1}^n a_i$ , где  $\wedge$  – конъюнкция непрерывной логики (НЛ), то есть операция взятия минимума [2, 4, 5]. В формульном виде это соотношение входного и выходного динамических процессов дизъюнктора

$$\bigvee_{i=1}^n 1'_{a_i} = 1'_{\bigwedge_{i=1}^n a_i}. \quad (2)$$

Обратим внимание, что логическая операция дизъюнкции  $\vee$  в строке формулы (2) означает булеву дизъюнкцию, оперирующую с двоичными элементами 0 и 1 и их изменениями  $0'$  и  $1'$ , в то время как логическая операция конъюнкции  $\wedge$  в индексе этой формулы означает конъюнкцию НЛ, оперирующую с любыми элементами непрерывного множества  $[0, \infty)$ . Это замечание, касающееся различия логических операций в строке и индексах формулы, относится также ко всем последующим формулам, описывающим соотношения между входными и выходными динамическими процессами в элементах. Если на всех входах дизъюнктора действуют однородные сигналы в виде однократных переключений  $1 \rightarrow 0$ , то есть  $x_i(t) = 0'_{a_i}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , то динамический процесс на его выходе будет иметь вид та-

кого же переключения, совершаемого в момент  $t = \bigvee_{i=1}^n a_i$ , где  $\vee$  – дизъюнкция

НЛ, то есть операция взятия максимума [2, 4, 5]. В формульном виде такое соотношение входных и выходного динамических процессов дизъюнктора записывается аналогично (2)

$$\bigvee_{i=1}^n 0'_{a_i} = 0'_n \bigvee_{i=1}^n a_i. \quad (3)$$

Аналогично выглядят формулы, дающие зависимость между входными и выходными динамическими процессами элемента-конъюнктора, который в статике реализует на выходе  $y$  булеву логическую конъюнкцию своих входов  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$

$$y = \bigwedge_{i=1}^n x_i. \quad (4)$$

Для входных динамических процессов в виде однократных переключений  $x_i(t) = 1'_{a_i}$ ,  $i = \overline{1, n}$  и  $x_i(t) = 0'_{a_i}$ ,  $i = \overline{1, n}$  соответственно

$$\bigwedge_{i=1}^n 1'_{a_i} = 1'_n \bigvee_{i=1}^n a_i; \quad (5)$$

$$\bigwedge_{i=1}^n 0'_{a_i} = 0'_n \bigwedge_{i=1}^n a_i. \quad (6)$$

Вход-выходные динамические соотношения в дизъюнкторе и конъюнкторе, описываемые формулами (2), (3), (5), (6), можно представить более компактно и наглядно, указав последовательность входящих в каждую формулу символов переменных и операций и разделив вертикальной чертой символы, относящиеся ко входам элемента, от символов, относящихся к его выходу. Например, формулы (2) и (3) представим символично в виде записей  $\vee 1' | 1'_\wedge$  и  $\vee 0' | 0'_\vee$  соответственно и т.д. Собрав вместе все четыре символических представления, соответствующие четырем имеющимся формулам, поместив каждое представление в рамку и соединив линиями те соответственные символы различных представлений, значения которых совпадают, получим мультиграф формул динамики дизъюнктора и конъюнктора при однородных входных воздействиях (рис. 1). Из рис. 1 хорошо видно, какие из соответствующих друг другу символов различных символических представлений формул имеют одинаковые значения (они соединены линиями), а какие – противоположные значения (между ними нет линий). Это позволяет легко

перейти от одного символического представления к другому (от одной формулы к другой), используя полностью формализованную алгоритмическую процедуру, которая проста и очевидна.

**Пример 1.** Необходимо получить из символично представленной известной формулы  $A$  символично представленную неизвестную формулу (рис. 1).

*Шаг 1.* В вершине  $C$  мультиграфа выделяем позицию, соединенную линией с соответствующей позицией вершины  $A$ . В данном случае это 4-я по порядку позиция. В ней ставим тот же символ, что и в позиции 4 вершины  $A$ . В данном случае это символ  $\wedge$ .

*Шаг 2.* В вершине  $C$  мультиграфа выделяем позиции, не соединенные линиями с соответствующими позициями вершины  $A$ . В данном случае это позиции 1, 2, 3. В них ставим символы, противоположные символам в соответствующих позициях вершины  $A$ , то есть вместо  $\vee, 1', 1'$  ставим соответственно  $\wedge, 0', 0'$ . В итоге получаем символично представленную формулу  $C$ , которая изображена на рис. 1 в правом нижнем углу.

*Конец алгоритма.*

Обнаруженное существование единого алгоритма, позволяющего из любой одной формулы четырехформульного мультиграфа (см. рис. 1) чисто формально получить три остальные, дает основание отнести все четыре формулы –  $A, B, C$  и  $D$  к единому классу однородных формул. При этом в качестве формулы-представителя, полностью определяющей класс, можно выбрать любую из четырех указанных в мультиграфе формул.

#### 4. Динамические процессы в дизъюнкторе и конъюнкторе при неоднородных входных воздействиях

Рассмотрим ситуацию, когда на входах  $n$ -входовых дизъюнктора и конъюнктора (реализуемые в статике на выходе  $y$  булевы логические функции входов,  $x_i, i = \overline{1, n}$ , соответственно (1) и (4)) действуют неоднородные динамические сигналы в виде однократных переключений  $0 \rightarrow 1$  на одних входах и  $1 \rightarrow 0$  на других, то есть  $x_i(t) = 1'_{a_i}$  при  $i = \overline{1, m}$  и  $0'_{a_i}$  при  $i = \overline{m+1, n}$ . В этой ситуации динамические процессы на выходах дизъюнктора и конъюнктора легко вычислить, представив каждый из них в виде параллельного соединения двух одноименных элементов, на входах первого из которых действуют только переключения  $1'$ , а на входах второго – только переключения  $0'$ , выходы которых подаются на входы двухвходового элемента того же типа. В итоге, используя формулы (2), (3), (5), (6) для выходных динамических процессов многовходовых дизъюнктора и конъюнктора при однородных входных воздействиях в виде однократных переключений  $1'$  или  $0'$  и формулы из литературных источников [2, 4, 5] для выходных динамических процессов двухвходовых дизъюнктора и конъюнктора при неоднородных входных воздействиях (по одному входу  $1'$ , а по другому  $0'$ )

$$1'_a \vee 0'_b = 0(b, a \vee b), \quad (7)$$

$$1'_a \wedge 0'_b = 1(a, a \vee b), \quad (8)$$

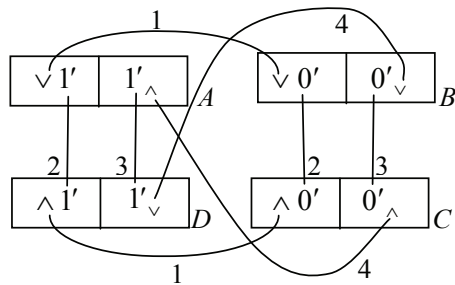


Рис. 1. Мультиграф 1 символического представления формул динамики

получим следующие искомые формулы:

$$\bigvee_{i=1}^m 1'_{a_i} \vee \bigvee_{i=m+1}^n 0'_{a_i} = 0 \left[ \bigvee_{i=m+1}^n a_i, \bigvee_{i=m+1}^n a_i \vee \left( \bigwedge_{i=1}^m a_i \right) \right], \quad (9)$$

$$\bigwedge_{i=1}^m 1'_{a_i} \wedge \bigwedge_{i=m+1}^n 0'_{a_i} = 1 \left[ \bigvee_{i=1}^m a_i, \bigvee_{i=1}^m a_i \vee \left( \bigwedge_{i=m+1}^n a_i \right) \right]. \quad (10)$$

Формула (9) дает выходной динамический процесс в дизъюнкторе с неоднородными входными динамическими воздействиями в виде нулевой паузы  $0[\cdot]$  в указанном в скобках временном интервале. Аналогично, формула (10) дает выходной динамический процесс в конъюнкторе с такими входными воздействиями в виде единичного импульса  $1[\cdot]$  в указанном в скобках временном интервале.

Вход-выходные динамические соотношения в дизъюнкторе и конъюнкторе, описываемые формулами (9), (10), можно, как и предыдущие соотношения, представить в символьной форме. Для этого обозначим в указанных формулах булевы дизъюнкции и конъюнкции в виде

$$\bigvee_{i=1}^m = \vee^1, \quad \bigvee_{i=m+1}^n = \vee^2, \quad \bigwedge_{i=1}^m = \wedge^1, \quad \bigwedge_{i=m+1}^n = \wedge^2, \quad (11)$$

а дизъюнкции и конъюнкции НЛ в виде

$$\bigvee_{i=1}^m = \vee_1, \quad \bigvee_{i=m+1}^n = \vee_2, \quad \bigwedge_{i=1}^m = \wedge_1, \quad \bigwedge_{i=m+1}^n = \wedge_2. \quad (12)$$

Собрав вместе два символьных представления формул (9), (10), разделив в них вертикальной чертой символы, относящиеся ко входам элемента, от символов, относящихся к его выходу, и соединив линиями соответственные символы двух представлений, значения которых совпадают, получим мультиграф формул динамики дизъюнктора и конъюнктора при неоднородных входных воздействиях (рис. 2).

Из рис. 2 видно, какие соответствующие друг другу символы двух имеющих символьных представлений формул имеют одинаковые значения (они соединены линиями), а какие – противоположные значения (между ними нет линий). Это позволяет формализовано перейти от одного представления (одной формулы) к другому (другой формуле). Алгоритм перехода поясним на нижеследующем примере 2 перехода от предполагаемого известным символьного представления формулы  $A$  к неизвестному представлению формулы  $B$  (см. рис. 2).

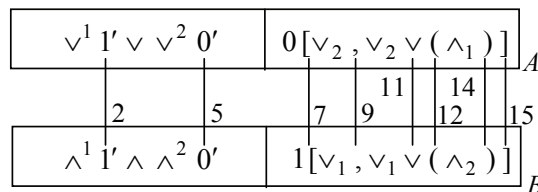


Рис. 2. Мультиграф 2 символьного представления формул динамики

### Пример 2.

*Шаг 1.* В вершине  $B$  мультиграфа выделяем позиции, соединенные линиями с соответствующими позициями вершины  $A$ . В данном случае это позиции 2, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 15. В них проставляем те же символы, что и в соответствующих позициях вершины  $A$ . В данном случае это символы  $1', 0', [', \vee, (, )$ .

*Шаг 2.* В вершине  $B$  мультиграфа выделяем позиции, не соединенные линиями с соответствующими позициями вершины  $A$ . В данном случае это позиции 1, 3, 4, 6, 8, 10, 13. В них проставляем символы, противоположные символам в соответствующих позициях вершины  $A$ , то есть вместо  $\vee_1, \vee, \vee^2, 0, \vee_2, \vee_2, \wedge_1$  соответственно  $\wedge_1, \wedge, \wedge^2, 1, \vee_1, \vee_1, \wedge_2$ . Получаем символическое представление формулы  $B$  (см. рис. 2).

*Конец алгоритма.*

Итак, существует единый алгоритм, позволяющий из любой одной формулы двухформульного мультиграфа чисто формально получить другую. Это позволяет отнести обе формулы –  $A$  и  $B$  к единому классу однородных формул. Причем в качестве формулы-представителя класса можно выбрать как  $A$ , так и  $B$ .

## 5. Динамические процессы в произвольных логических $(n, m)$ -полюсниках

Обратимся к заданному условиями (п. 2) логическому  $(n, m)$ -полюснику. Без ограничения общности решения представленной задачи его можно представить в виде совокупности  $m$  отдельных логических  $(n, 1)$ -полюсников с общими  $n$  входами, реализующих на своих выходах  $y_i$  соответствующие булевы логические функции  $y_i = f_i(x_1, \dots, x_n)$ ,  $i = \overline{1, m}$ , от общих для них всех входов  $x_1, \dots, x_n$ . Любой такой  $(n, 1)$ -полюсник, как известно [7], можно представить в виде эквивалентной двухступенчатой логической схемы, первая ступень которой состоит из нескольких параллельно работающих конъюнкторов, реализующих на своих выходах булеву логическую функцию входов конъюнкцию (4), а вторая – из одного дизъюнктора, реализующего на своем выходе булеву логическую функцию входов дизъюнкцию (1), причем входами дизъюнктора являются выходы конъюнкторов (рис. 3). Но, как установлено выше формулами (5), (6), (10), при простейших динамических входных воздействиях вида  $1 \rightarrow 0 = 0'$  и  $0 \rightarrow 1 = 1'$  (а по условию задачи рассматриваются только такие воздействия) на выходе конъюнктора могут

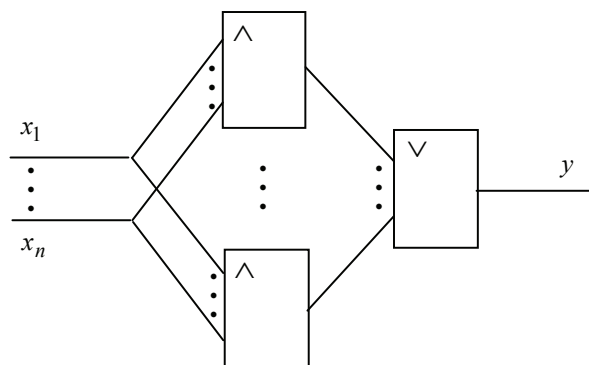
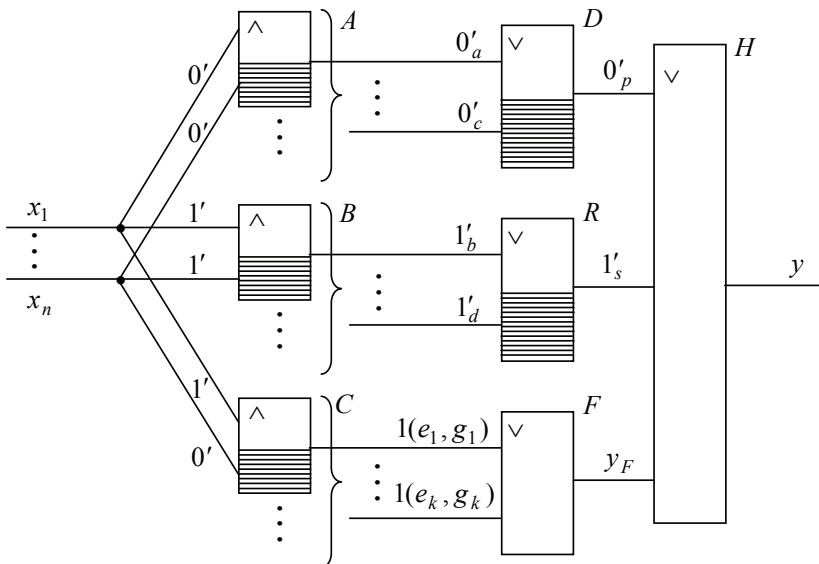


Рис. 3. Эквивалентная двухступенчатая логическая схема  $(n, 1)$ -полюсника

вырабатываться динамические процессы только следующих трех типов:  $0'_a$ ,  $1'_a$  и  $1(a,b)$ . В соответствии с этим и учитывая ассоциативный закон для булевой логической дизъюнкции, схему на рис. 3 можно заменить эквивалентной ей трехступенчатой логической схемой, представленной на рис. 4.

В схеме на рис. 4 частичной штриховкой выделены логические элементы, динамические процессы на выходах которых мы уже умеем вычислять по их входным динамическим процессам с помощью подходящих формул: для элементов-конъюнкторов групп  $A$ ,  $B$  и  $C$  это, соответственно, формулы (6), (5), и (10), а для элементов-дизъюнкторов  $D$  и  $R$  это, соответственно, формулы (3) и (2). Таким образом, из рис. 4 видно, что для нахождения динамического процесса  $y(t)$  на выходе произвольного логического  $(n, 1)$ -полюсника с простейшими динамическими воздействиями  $x_i(t)$  вида  $0'$  и  $1'$  с использованием метода последовательных подстановок выходов предыдущих ступеней на входы последующих нам не хватает лишь двух формул. Первая формула должна вычислять динамический процесс  $y_F(t)$  на выходе элемента-дизъюнктора  $F$ , получающего по всем входам однородные динамические воздействия в виде единичного импульса  $1(\cdot)$  в указанном в скобках временном интервале. Вторая формула должна вычислять динамический процесс  $y(t)$  на выходе трехвходового элемента-дизъюнктора  $H$ , на 1-м и 2-м входах которого действуют динамические процессы соответственно  $0'_p$  и  $1'_s$ , а на 3-м входе – процесс, полученный на выходе элемента-дизъюнктора  $F$ . Этот процесс и есть искомым динамический процесс на выходе заданного логического  $(n, 1)$ -полюсника (см. рис. 3, 4).

Первая необходимая нам формула, вычисляющая динамический процесс  $y_F(t)$  на выходе дизъюнктора  $F$  с входными воздействиями в виде единичных импульсов, есть частный случай формулы для динамического процесса на выходе



**Рис. 4. Эквивалентная трехступенчатая логическая схема  $(n, 1)$ -полюсника:**

$A, B, C$  – конъюнкторы 1-й, 2-й и 3-й групп соответственно.

Конъюнкторы одной группы имеют однотипные входные воздействия

дизъюнктора с входными динамическими процессами в виде конечных последовательностей единичных импульсов [4, 5]. Она имеет вид

$$y_F(t) \equiv \bigvee_{i=1}^k 1(e_i, g_i) = 1(E^1, G^1 \wedge E^2) 0(-, -) 1(E^2, G^2 \wedge E^3) \dots \dots 1(E^{k-1}, G^{k-1} \wedge E^k) 0(-, -) 1(E^k, G^k), \quad (13)$$

$E^r = \begin{vmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_k \end{vmatrix}^r$  – логический определитель (ЛО) ранга  $r$  от матрицы-столбца  $E = \begin{vmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_k \end{vmatrix}$ ,

то есть  $r$ -й в порядке убывания элемент этой матрицы;  $G^r = \begin{vmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_k \end{vmatrix}^r$  – ЛО ранга  $r$

от матрицы-столбца  $G = \begin{vmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_k \end{vmatrix}$ ,  $\wedge$  – операция конъюнкции НЛ. Логические определители  $E^r$  и  $G^r$  раскрываются (выражаются) соответствующими суперпозициями операций дизъюнкции и конъюнкции НЛ, совершаемыми над элементами матриц  $E$  и  $G$  [4, 5]. Вторая необходимая нам формула, вычисляющая динамический процесс  $y(t)$  на выходе трехвходового дизъюнктора  $H$  с входными динамическими процессами  $y_D(t) = 0'_p$ ,  $y_R(t) = 1'_s$  и  $y_F(t) = 1(E^1, \tilde{G}^1) 0(-, -) \dots 1(E^k, \tilde{G}^k)$ , где

$$\tilde{G}^r = \begin{cases} G^r \wedge E^{r+1} & \text{при } r < k, \\ G^r & \text{при } r = k. \end{cases} \quad (14)$$

После нахождения в явном виде процесса  $y_F(t)$  с использованием выражения динамического процесса на выходе дизъюнктора с входными воздействиями в виде последовательностей единичных импульсов [4, 5]

$$\begin{aligned} y(t) &= y_D(t) \vee y_R(t) \vee y_F(t) = 0'_p \vee 1'_s \vee 1(E^1, \tilde{G}^1) 0(-, -) \dots 1(E^k, \tilde{G}^k) = \\ &= 1(-\infty, p) \vee 1(s, \infty) \vee 1(E^1, \tilde{G}^1) 0(-, -) \dots 1(E^k, \tilde{G}^k) = \\ &= 1(A^1, B^1 \wedge A^2) 0(-, -) 1(A^2, B^2 \wedge A^3) \dots 1(A^{k+1}, B^{k+1} \wedge A^{k+2}) 0(-, -) 1(A^{k+2}, B^{k+2}), \end{aligned}$$

где  $A^r = \begin{vmatrix} -\infty \\ s \\ E^1 \dots E^k \end{vmatrix}^r$ ,  $B^r = \begin{vmatrix} p \\ \infty \\ \tilde{G}^1 \dots \tilde{G}^k \end{vmatrix}^r$ .

Упрощая ЛО  $A^r$  и  $B^r$ :

$$A^r = \begin{cases} -\infty, & r = 1, \\ A_1^{r-1}, & r = \overline{2, k+1} \end{cases},$$

где

$$A_1^r = \begin{vmatrix} s \\ E^1 \dots E^k \end{vmatrix}^r, \quad r = \overline{1, k+1}; \quad (15)$$



$$B^r = \begin{cases} B_1^r, & r = \overline{1, k+1}, \\ \infty, & r = k+2 \end{cases},$$

где

$$B_1^r = \left| \tilde{G}^1 \dots \tilde{G}^k \right|^r, \quad (16)$$

получим окончательную формулу для динамического процесса  $y(t)$  на выходе трехвходового дизъюнктора  $H$ , являющегося выходом заданного логического  $(n, 1)$ -полюсника (см. рис. 3, 4)

$$\begin{aligned} y(t) &= 0'_p \vee 1'_s \vee 1(E^1, \tilde{G}^1) 0(-, -) \dots 1(E^k, \tilde{G}^k) = \\ &= 0(B_1^1 \wedge A_1^1, A_1^1) 1(A_1^1, B_1^2 \wedge A_1^2) \dots 1(A_1^k, B_1^{k+1} \wedge A_1^{k+1}) 0(-, A_1^{k+1}). \end{aligned} \quad (17)$$

Здесь ЛО  $A_1^r, B_1^r$  определяются выражениями (15) – (16).

Выражения (13) и (17) аналогичны – оба они содержат последовательность  $k+2$  единичных импульсов (в (17) первый импульс начинается в момент  $t = -\infty$ , а последний заканчивается в момент  $t = +\infty$ ). Поэтому формулы (13) и (17) можно отнести к одному классу однородных формул, описываемых единым мультиграфом, как это делалось выше.

## 6. Заключение

Выше мы выяснили, что для символического анализа с помощью нечеткой (непрерывной) логики динамики произвольного логического  $(n, m)$ -полюсника, находящегося под простейшим динамическим воздействием в виде однократных переключений входных сигналов  $0 \rightarrow 1$  и  $1 \rightarrow 0$ , с указанием в буквенной форме моментов этих переключений, достаточно использовать всего три формулы вход-выходных динамических соотношений типовых логических элементов, хотя общее число формул «входы–выход» элементов, имеющих прямое отношение к динамическому анализу логических схем, равно 8 – это формулы (2), (3), (5), (6), (9), (10), (13), (17). Экономия достигается благодаря «интеллектуальному» объединению формул динамики «входы–выход» логических элементов в целые классы однородных формул, где с помощью единого алгоритма, имея единственную формулу представителя класса, можно получить все остальные формулы этого класса. Отметим, что мы не рассматривали формулы «вход–выход» логического элемента «отрицание». Это связано с тем, что данный элемент не осуществляет на выходе временного преобразования входного сигнала. Он лишь преобразует изменения входного сигнала в противоположные ( $0 \rightarrow 1$  в  $1 \rightarrow 0$  и обратно), оставляя моменты этих изменений прежними.

«Интеллектуальные» упорядочение, классификация и унификация базовых формул динамического анализа логических схем в более сложных случаях, чем рассмотренный в этой статье (сложные динамические воздействия на входах схемы, сложная структура схемы и т.д.), проводятся по той же методике.

### Список литературы

1. Левин, В.И. Бесконечнозначная логика и переходные процессы в конечных автоматах / В.И. Левин // Автоматика и вычисл. техника. – 1972. – № 6. – С. 54–65.
2. Левин, В.И. Введение в динамическую теорию конечных автоматов / В.И. Левин. – Рига : Зинатне, 1975. – 376 с.

3. Левин, В.И. Таблицы для расчета и анализа переходных процессов в дискретных устройствах / В.И. Левин. – Рига : Зинатне, 1975. – 75 с.
  4. Левин, В.И. Динамика логических устройств и систем / В.И. Левин. – М. : Энергия, 1980. – 224 с.
  5. Левин, В.И. Теория динамических автоматов / В.И. Левин. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1995. – 408 с.
  6. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы : справочник / под ред. Д.А. Поспелова. – М. : Радио и связь, 1990. – 304 с.
  7. Поспелов, Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем / Д.А. Поспелов. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Энергия, 1974. – 368 с.
- 

## Continuous Logic for Analysis of Finite Automata Dynamic

V.I. Levin

*Penza State Technological Academy;  
levin@pgta.ac.ru*

**Key words and phrases:** finite automata; formula unification; fuzzy logic.

**Abstract:** The paper proposes the technique of ordering, classification and unification of fuzzy logic formula describing dynamic processes in finite automata. It is shown that the technique can reduce significantly the number of the required formula when using automation without memory and simple ordinary effects.

---

## Analyse der Automattendynamik mit Hilfe der kontinuierlichen Logik

**Zusammenfassung:** Es ist die Methodik der Regelung, der Klassifikation und der Unifizierung der die dynamischen Prozesse in den Endautomaten beschreibenden Formeln der kontinuierlichen Logik vorgeschlagen. Am Beispiel der Automaten ohne Speicher mit den einfachsten Eingangseffekten ist gezeigt, daß die Methodik die Zahl der notwendigen Formeln wesentlich zu reduzieren erlaubt.

---

## Analyse de la dynamique des automates à l'aide de la logique discontinue

**Résumé:** Est proposée la méthode de la réglementation, de la classification et de l'unification des formules de la logique vague (discontinue) décrivant les processus dynamiques dans les automates finis. A l'exemple d'une catégorie des automates sans mémoire avec les actions d'entrées les plus simples est montré que la méthode permet de réduire considérablement le nombre des formules nécessaires.

---

**Автор:** *Левин Виталий Ильич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Научные технологии», ГОУ ВПО «ПГТА».

**Рецензент:** *Муромцев Дмитрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ГОУ ВПО «ТГТУ».