

*Атакищев Олег Игоревич  
Атакищева Ирина Викторовна*

## **ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВЫБОРОМ СТРАТЕГИЙ И ПРОГРАММ ОБУЧЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ МЕТАГРАММАТИЧЕСКОГО ПОДХОДА**

**Ключевые слова:** интеллектуальные образовательные системы, выбор стратегий и программ обучения, метаграмматики, синтаксический анализ

Рассмотрены общие особенности управления выбором стратегий и программ обучения в интеллектуальных обучающих системах на основе метаграмматического подхода. Основной особенностью предложенного подхода является использование метаграмматик для формального описания множеств правил формирования стратегий и программ обучения, а также методов полного и неполного синтаксического анализа в качестве процедурной основы адаптивных методов выбора стратегий и программ в интеллектуальных обучающих системах.

**Keywords:** intelligent tutoring systems, the choice of strategies and training programs, metagrammars, syntactical parsing

The general features of the selection control strategies and training programs in intelligent tutoring systems are observed based on metagrammatical approach. The main feature of the proposed approach is the use of formal metagrammatical specification of the sets of rules for creation strategies and training programs, as well as methods of complete and incomplete syntactical parsing as a procedural basis of adaptive selection of strategies and programs in intelligent tutoring systems.

### *I. Введение*

Современный этап развития системы образования в России и ведущих зарубежных странах характеризуется широкомасштабным внедрением и использованием интеллектуальных обучающих систем (ИОС) различных классов и целевого назначения [1–10].

При создании ИОС реализуются передовые образовательные и информационные технологии, создающие предпосылки для выполнения существующих и перспективных требований к основным и частным показателям образовательного процесса в условиях динамично – меняющегося содержания программ обучения в конкретных предметных областях, структурного усложнения программ обучения и их основных разделов, внедрения передовых технологий обучения.

В то же время проведенный анализ существующих подходов, методов и средств, реализуемых в показал, что они не в полной степени оснащены методическим аппаратом, программными комплексами и средствами, позволяющими оперативно в автоматизированном режиме управлять выбором стратегий и программ обучения в первую очередь, в рамках реализации адаптивных, дистанционных и индивидуальных подходов к обучению. В большинстве случаев не удается в полной мере реализовать общую стратегию адаптивного системного подхода в образовании, основанную в первую очередь, на ситуационном сочетании частных стратегий и программ группового и индивидуального,

глобального и регионального, сосредоточенного и дистанционного обучения, а также автоматизировать трудноформализуемые этапы процессов обучения, исключить или нейтрализовать действия субъективных факторов, в том числе связанных с решением задач формирования, анализа и выбора стратегий и программ обучения.

В целом, проведенный анализ показал, что реализация основных целей внедрения ИОС в сферу обучения и преодоление объективного противоречия между возросшими требованиями к результативности обучения и возможностями существующих методов и средств, невозможны без первоочередной разработки методов и создания подсистем интеллектуализированного адаптивного управления выбором стратегий и программ обучения – как одного из ключевых элементов реализации современных образовательных технологий и адаптации к динамично– меняющимся условиям образовательной деятельности.

Исследование состояния вопроса по созданию подобных адаптивных подсистем управления в ИОС показало, что разработку для них методического аппарата и создание технических средств в последние годы предложено осуществлять в рамках достаточно представительного класса подходов, ориентированных на применение различных интеллектуальных моделей описания вариантов стратегий и программ обучения, а также ориентированных на них методов генерации вариантов, анализа и принятия решений – как основы процедурной компоненты соответствующих адаптивных методов выбора стратегий и программ обучения в условиях структурной и параметрической неопределенности.

При этом одним из наиболее перспективных подходов к построению подобных подсистем является метаграмматический подход, основной особенностью которого является использование метаграмматик для формального описания множеств правил формирования стратегий и программ обучения, а также методов полного и неполного синтаксического анализа в качестве процедурной основы адаптивных методов выбора стратегий и программ обучения, ориентированных на решение интеллектуальных задач повышенной структурной сложности.

В то же время, применительно к решению задач управления выбором стратегий и программ обучения в ИОС, особенности данного подхода в известных работах не рассматривались, в его рамках не разработаны эталонные метаграмматические описания (модели) и методы синтаксического анализа, учитывающие структурно–лингвистические особенности стратегий и программ обучения в ИОС и позволяющие эффективно решать прикладные задачи в рассматриваемой области исследований и разработок.

В монографии решались следующие задачи.

1. Разработка метаграмматической модели для формального описания и анализа вариантов стратегий и программ обучения рассматриваемого класса.

2. Разработка структурно– лингвистического метода управления выбором стратегий и программ обучения в ИОС на основе метаграмматического подхода.

2. Особенности метаграмматических моделей системы правил формирования вариантов стратегий и программ обучения

Проведенный обобщенный анализ возможностей применения метаграмматик для управления выбором стратегий и программ обучения (СиПО) в ИОС показал, что первоочередному решению подлежит достаточно широкий круг

задач, связанных с созданием метаграмматических моделей большого числа сложноструктурированных стратегий и программ. Данные модели должны отражать большинство структурных, и алгебраических особенностей их синтаксических и семантических конструкций [26].

Также проведенный анализ известных подходов и методов решения задач формального описания (моделирования) СиПО показал, что в рамках существующих формальных схем достаточно сложно специфицировать все основные синтаксические и семантические (а также другие экстралингвистические) отношения, свойственные основным классам СиПО, используемым в ИОС [19, 23]. Формальные описания и модели получаются громоздкими, затруднена их разработка и модификация, большинство языков описания не оснащены достаточно представительным набором методов структурного (в первую очередь синтаксического) анализа подобных сложноструктурированных объектов.

Преодоление этих недостатков при решении рассматриваемого класса задач возможно при дальнейшем обобщении и развитии аппарата метаграмматик в рамках создания их нового класса – оценочно–продукционных (ОП) метаграмматик [20], создающих формальный базис решения представительного класса задач в рассматриваемой прикладной области исследований.

Ниже приводятся основные результаты создания и развития формального аппарата ОП МГ и особенности его практического применения для решения рассматриваемого класса задач.

В основе предлагаемого подхода к формальному описанию СиПО лежит понятие ОП МГ, которую определим как формальную систему следующего вида [20, 23].

*Определение 2.1.* Оценочно–продукционная\_МГ представляет собой систему

$$G = \langle \{G_{ia}\}, Wap \rangle,$$

где  $\{G_{ia}\}$  – множество атрибутных грамматик определенного вида  $i=1(1)N$ ,  $Wap$  – схема метаграмматики, содержащая набор правил согласования (определенного рода отображений) между атрибутами (значениями атрибутов) и метками продукции грамматик множества  $\{G_i\}$ .

Таким образом, ОП МГ представляет собой систему взаимосвязанных грамматик, в которой правила согласования задают систему взаимных отображений атрибутов (значений атрибутов) в элементы множеств меток продукции грамматик  $\{G_i\}$ . Это существенно повышает возможности существующих МГ по управлению на основе полученных значений атрибутов процессами динамического управления выбором (ограничением) множества вариантов решений на этапах генерации и анализа вариантов принимаемых решений в процессе выбора стратегий и программ управления рассматриваемого класса.

Класс ОП МГ является развитием общего теоретического аппарата метаграмматик путем добавления в схему метаграмматики нового класса правил согласования типа «атрибут– метка продукции» или «оценка атрибута– метка продукции» с соответствующими интерпретациями.

Аналогично другим классам метаграмматик, ОП МГ допускают применение схем МГ с гораздо менее жесткими ограничениями на множества используемых правил согласования (продуцируемых действий и управляющих воздействий одних грамматик на другие) между входящими в них грамматиками, что позволяет синтезировать представительный класс ОП МГ, ориентированных на эффективное решение более широкого класса прикладных задач управления в рассматриваемой области.

Входящее в ОП МГ множество грамматик  $\{G_i\}$  может быть как конечным, так и бесконечным. В последнем случае должна быть решена проблема порождения (перечисления, рекурсивного задания) множества  $\{G_i\}$  и его элементов.

В дальнейшем, аналогично [4, 5], будем рассматривать только конечные множества  $\{G_i\}$ . Входящие в эти множества грамматики могут отличаться по типу используемых правил подстановки, различных экстралингвистических отношений, задаваемых мер (вероятностных, нечетких) на множестве правил подстановки. То есть при спецификации (моделировании) СиПО с использованием ОП МГ, аналогично многоуровневым метаграмматикам, допустим практически полный спектр известных классов формальных грамматик.

*Определение 2.2.* Классификация ОП МГ по типу правил подстановки). Будем называть ОП МГ метаграмматикой типа  $i$  и обозначать  $G(i)$ , если в ней используются грамматики типа  $i$  и  $j$  ( $i < j$ ) по классификации Хомского [5, 6],  $i=0(1)3$ .

В соответствии с этим определением ОП МГ будем называть МГ типа 3 (регулярной ОП МГ), если множество  $\{G_i\}$  включает только грамматики типа 3 (регулярные грамматики). Если хотя бы один элемент множества  $\{G_i\}$  является грамматикой типа 2 (контекстно–свободной грамматикой), то ОП МГ относится к типу 2 (контекстно–свободная ОП МГ). То же самое относится к неограниченным (типа 0) и контекстно– зависимым (типа 1) ОП МГ.

ОП МГ, аналогично другим метаграмматическим системам, может содержать как однотипные, так и разнотипные грамматики, отличающиеся использованием дополнительных элементов и отношений между входящими в них элементами (грамматики предшествования, управляемого предшествования, программные, графовые (веб) [5–8] грамматики и т.п.), а также особенностями задания вероятностных и других мер на множествах правил подстановки и элементах грамматик (стохастические [6], нечеткие [8] грамматики).

*Определение 2.3.* Будем называть ОП МГ однородной, если множество  $\{G_i\}$  состоит из однотипных грамматик (в указанном выше смысле). В противном случае будем называть ОП МГ неоднородной.

В ОП МГ могут быть использованы различные правила согласования, отличающиеся видом отображений множеств элементов грамматик  $\{G_i\}$ , физической (семантической) интерпретацией этих отображений в соответствии с природой описываемого объекта, а также в целом формой задания этих отношений при описании схемы правил управления ОП МГ (рекурсивные, перечислительные и др. формы задания). Исходя из того, что при решении конкретных прикладных задач ОП МГ может использоваться для спецификации объектов, имеющих различную физическую и информационную природу, а также исходя из необходимости проведения определенного рода операций над грамматиками  $\{G_i\}$  в процессе синтаксического анализа, генерации цепочек сигналов и т.п., в качестве правил управления могут использоваться отображения, определяющие различные действия.

В данном случае, помимо правил согласования, описанных в известных работах [42, 51], предлагается использовать новые типы правил согласования типа «атрибут– метка продукции» (в обозначениях работы [42]– AP( $i$ )– правила согласования). Данные правила согласования представляются в виде  $Atki \rightarrow Pmj$ , где  $Atki$ – оценка  $k$ –го унаследованного или синтезированного атрибута  $i$ –й грамматики, входящей в МГ,  $Pmi$ –  $m$ – набор разрешенных меток продукции  $j$ –й грамматики, входящей в МГ.

Указанные выше правила согласования могут быть дополнены в соответ-

ствии с особенностями решаемых задач и применяемых подклассов грамматик  $\{G_i\}$ , аналогично [42,51].

Система рассматриваемых правил в ОП МГ в общем случае может содержать как конечные, так и бесконечные наборы отображений. В дальнейшем будем рассматривать ОП МГ со схемой, содержащей конечное число правил согласования.

В ОП МГ могут быть выделены однозначные и многозначные правила согласования, в зависимости от используемых отображений. В данном случае многозначные правила могут использоваться для описания и координации параллельных процессов, происходящих в контролируемых объектах и системах.

В зависимости от типа взаимодействующих элементов грамматик правила согласования могут быть также разделены на типы в соответствии со следующим определением.

*Определение 2.4.* Правило согласования называется правилом типа С( $L_x$ ) В, если оно задает отображение элемента грамматика типа С в множество элементов грамматики типа В, где в качестве обозначений правил согласования используются приведенные выше обозначения, а в качестве обозначений элементов грамматик—общепринятые указатели типа элементов грамматик: S— начальные символы; Т—терминальные символы; N—нетерминальные символы; Р—продукции, а также А—атрибуты.

При наличии в  $\{G_i\}$  специальных подклассов грамматик, имеющих в своем составе дополнительные элементы и правила (программные грамматики и т.п.), возможно использование правил согласования других типов, задающих отношения между правилами управления и соответствующими элементами грамматик, входящих в множество  $\{G_i\}$ , аналогично [51]. Обязательным для ОП МГ является использование правил типа АР.

*Определение 2.5.* Будем называть ОП МГ метаграмматикой с однородной схемой правил управления и погружения, если схема ОП МГ состоит из однотипных правил. В противном случае будем называть ОП МГ комбинированной.

Для рассматриваемых ОП МГ аналогично [42] использовано также понятие обобщенной схемы.

*Определение 2.6.* Обобщенной схемой ОП МГ называется ориентированная нагруженная сеть вида  $F_0 = (\{G_i\}, D_0, E, f_0)$ , где

1)  $\{G_i\}$ —непустое конечное множество грамматик, входящих в МГ (множество помеченных вершин);

2)  $D_0$ —конечная последовательность пар вида  $\{G_i, G_j\}$ ,  $i, j = 1(1)N$ , существующих, если имеется хотя бы одно правило согласования  $(g_i, g_j)$  вида АР( $i$ );

3)  $f_0$ —отображение множества  $\{i, j\}$  в Е ( $f(i, j)$ —пометки при дугах  $(g_i, g_j)$ ).

Для более сложных систем правил согласования соответствующим образом должна быть изменена форма задания обобщенной схемы ОП МГ.

Для ОП МГ, понятия пути и длины пути в схеме правил согласования интерпретируется аналогично [42]. Для обобщенной схемы ОП МГ дополнительно определяется путь следующим образом.

*Определение 2.7.* Путем длины  $x$  в обобщенной схеме ОП МГ от вершины  $G_i$  к вершине  $G_j$  называется последовательность пар  $(G_{i_0}^*, G_{j_0}^*) (G_{i_1}^*, G_{j_1}^*) \dots (G_{i_k}^*, G_{j_k}^*)$ , где  $G_i^* = G_{i_0}^*$ ,  $G_j^* = G_{j_k}^*$  и существует хотя бы один путь вида АР( $i$ ) в схеме ОП МГ длины  $k$  от элемента  $g_i \in G_i$  до элемента  $g_j \in G_j$  (обозначения аналогичны обозначениям в определении 2.6).

*Определение 2.8.* Путь в схеме (обобщенной схеме) ОП МГ будем называть однородным по типу правил согласования, если все входящие в него пары  $(x_{_0}^*, x_1)$   $(x_{_1}^*, x_2)$  ...  $(x_{_{k-1}}^*, x_k)$  (аналогично  $(G_{_0}^*, G_{_1}^*)$  ...  $(G_{_{k-1}}^*, G_{_k}^*)$ ) соответствуют правилам согласования, имеющим одинаковый тип.

*Определение 2.9.* Путь в схеме (обобщенной схеме) ОП МГ, однородный по типу правил согласования называется однородным.

Сведение понятия пути в схеме (обобщенной схеме) ОП МГ позволяет дать однозначную трактовку ряда других понятий, известных из теории сетей [55], необходимых для решения прикладных задач и развития теории метаграмматик.

В ряде практически важных задач моделирования СиПО возникает необходимость разбиения множества  $\{G_i\}$ , аналогично [42, 51], на ряд подмножеств (слоев), стратифицированных по какой-либо системе дополнительных признаков. Подобное разбиение может отражать как объективные структурные свойства моделируемых (специфицируемых) объектов, так и вводиться, исходя из определенных теоретических предпосылок при необходимости сокращения объема формальных описаний, их типизации, уменьшения сложности процедур синтаксического анализа. В дальнейшем подобные ОП МГ будем называть стратифицированными или многослойными и, если необходимо, явным образом отражать это свойство в записи ОП МГ аналогично [42].

В целом предложенный класс МГ – ОП МГ – включает в свой состав большинство известных подклассов МГ и позволяет синтезировать широкий набор новых подклассов метаграмматик для решения задач моделирования СиПО, используемых в существующих и перспективных ИОС. Предложенная формализация основных понятий для предложенного класса ОП МГ создает необходимый базис для классификации и исследования основных свойств ОП МГ применительно к решаемым прикладным задачам управления.

Рассмотрение представленных выше основных понятий и определений ОП МГ сетей как метаграмматических систем, ориентированных на использование в качестве формальной основы моделирования СиПО [19–32], позволило в рамках введенных определений провести классификацию ОП МГ в соответствии со следующей системой основных признаков.

1. Признаки, характеризующие множество  $\{G_i\}$ :

- мощность множества  $\{G_i\}$ ;
- тип правил подстановки в грамматиках  $\{G_i\}$ ;
- однородность множества  $\{G_i\}$ ;
- тип дополнительных (экстралингвистических) правил в грамматиках, входящих в ОП МГ;
- особенности задания мер на множествах правил подстановки грамматик  $\{G_i\}$ ;
- тип применяемых специальных форм грамматик.

2. Признаки, характеризующие схему правил согласования ОП МГ:

- мощность множества правил согласования;
- особенности общей схемы правил согласования;
- однородность правил согласования;
- тип правил согласования;
- особенности задания мер на множестве правил согласования;
- однозначность правил согласования.

На рис. 1 представлен фрагмент классификации ОП МГ по данной системе признаков. Анализ предложенной классификационной схемы показывает,

что ОП МГ, как средство системного объединения атрибутных грамматик в целях моделирования сложноструктурированных СиПО рассматриваемого класса, существенно превосходят возможности существующих классов грамматик. При этом, аналогично другим классам метаграмматик [42], при таком объединении проявляются важные системообразующие особенности ОП МГ, позволяющие при системном объединении достаточно простых грамматик описывать (моделировать) сложные структурно–семантические зависимости, характерные для СиПО.

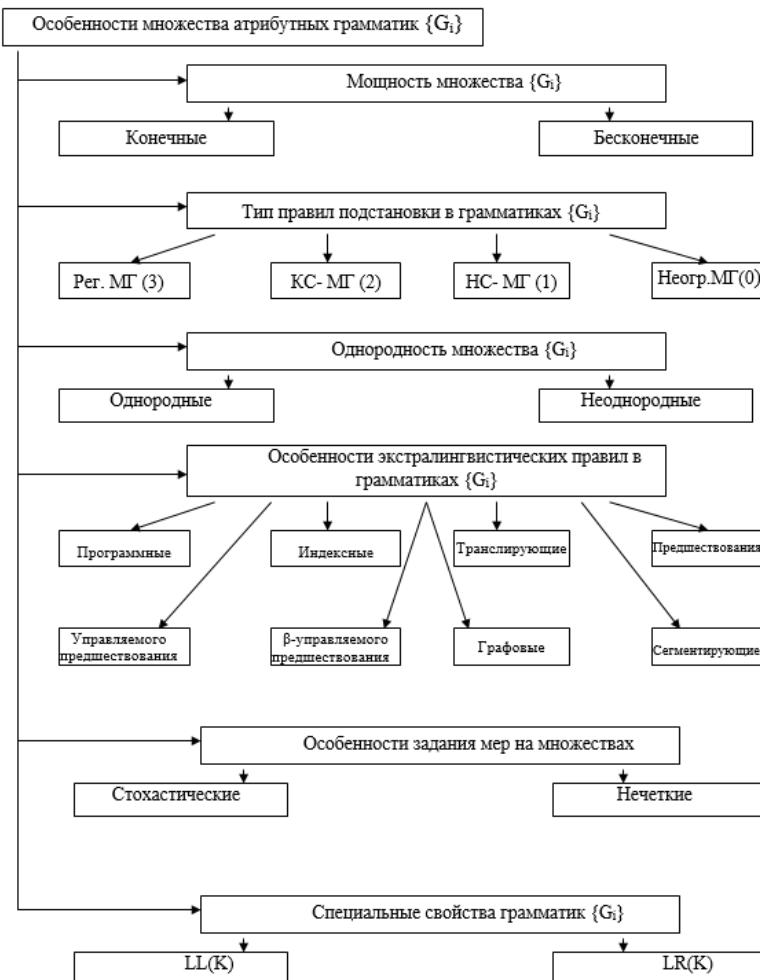


Рис.1 Фрагмент классификации ОП МГ (начало)

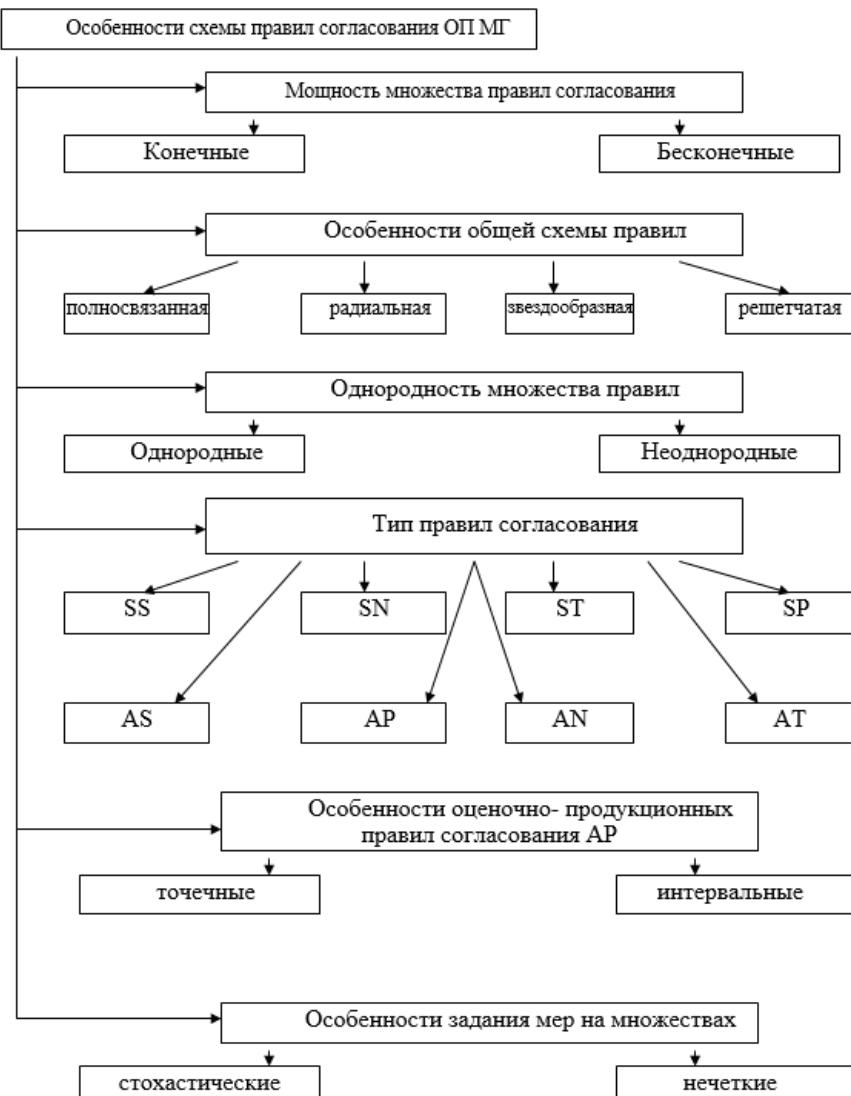


Рис.1. Окончание

Большое разнообразие возможных классов ОП МГ, отличающихся своими «выразительными» возможностями, характером структурных взаимосвязей в схеме правил согласования ОП МГ, позволяет использовать их при решении широкого круга прикладных задач управления выбором СиПО в существующих и перспективных ИОС.

Дадим краткую характеристику основных подклассов ОП МГ и их отдель-

ных свойств.

Одним из наиболее важных классификационных признаков, определяющим выразительные возможности ОП МГ и большинства других классов формальных грамматик и грамматических структур, является тип используемых правил подстановки (продукций) [19]. Аналогично общепринятой классификации формальных грамматик по Хомскому [41], будем выделять 4 типа ОП МГ, отличающихся ограничениями, накладываемыми на множество продуктов: регулярные (тип 3), контекстно–свободные (тип 2), контекстно–зависимые ОП МГ (ОП МГ непосредственно–составляющих) (тип 1) и неограниченные ОП МГ (тип 0).

Для этих случаев входящие в ОП МГ атрибутные грамматики  $\{<VN_i, VT_i, Si, Pi, Di>, i=1(1)N\}$  содержат в схемах  $P_i$  правила подстановки следующих типов:

1. Грамматики типа 0 – нет ограничений на тип правил подстановки.
2. Грамматики типа 1 – хотя бы одна грамматика содержит правила  $\alpha_1 A \alpha_2 \rightarrow \alpha_1 \beta \alpha_2$ , где  $A \in V_{Ni}$ ,  $\alpha_1, \beta, \alpha_2 \in V^*$ ,  $\beta \neq e$  ( $e$  – пустая цепочка),  $V^*_i$  – итерация множества  $V_i = V_{Ni} \cup V_{Ti}$ , а остальные грамматики имеют схемы с более сильными ограничениями на тип правил подстановки (правила типа 2 и 3).
3. Грамматики типа 2 – хотя бы одна грамматика содержит правила  $A \rightarrow \beta$ , где  $A \in V_{Ni}$ ,  $\beta \in V^+_i$ ,  $V^+_i$  – положительная итерация множества  $V_i = V_{Ni} \cup V_{Ti}$ , а остальные грамматики имеют схемы с более сильными ограничениями на тип правил подстановки (правила типа 3).
4. Грамматики типа 3 – грамматики содержат правила типа 3  $A \rightarrow aB$ , или  $A \rightarrow a$ , где  $A, B \in V_{Ni}$ ,  $a \in V_{Ti}$ .

Соответственно, ОП МГ подобных типов будем обозначать  $G_{rc}(i)$ , где  $i$  – тип ОП МГ,  $i=0(1)3$ .

Применение ОП МГ различных типов определяется особенностями синтаксической структуры специфицируемых СиПО, требованиями к полноте, адекватности и структурной сложности создаваемых формальных моделей [42], а также эффективностью алгоритмов порождения и синтаксического анализа. В реальной практике решения прикладных задач управления [51] этот выбор сводится к поиску компромисса между стремлением к наиболее полному формальному описанию синтаксических и семантических особенностей специфицируемых СиПО (с уменьшением номера класса  $i$  ( $i=1(1)3$ ) «выразительная мощность» грамматик увеличивается) и требованиями к эффективности процедур генерации и синтаксического анализа (в большинстве случаев с уменьшением номера класса  $i$  достаточно быстро возрастает сложность алгоритмов генерации и грамматического разбора [41]).

С целью разрешения этого противоречия в ряде работ [41–52] предложено использовать специальные подклассы формальных грамматик, ориентированные на привлечение дополнительной информации о синтаксических отношениях в моделируемых объектах. Это позволяет создавать достаточно эффективные процедуры генерации и синтаксического анализа за счет введения дополнительных правил и элементов в используемые грамматики (различные классы грамматик предшествования) или принятия допущений о свойствах анализируемых цепочек элементов, представляющих структуру моделируемых объектов ( $LR(k)$ –,  $LL(k)$ – грамматики и т.п.).

Аналогичными свойствами обладают и ОП МГ. Это определяется, помимо возможности использования специальных типов грамматик, также возможностью

стью привлечения дополнительной информации о структуре специфицируемых объектов, явно отражаемой в схеме правил согласования ОП МГ; возможностью создания ОП МГ, в которых часть грамматикенным образом управляет началом и окончанием порождения (синтаксического анализа) в других грамматиках (аналогично ряду подклассов комбинированных TS(3)- и TP(4)-метаграмматик, программным грамматикам или контекстно-зависимым грамматикам [41]).

Проведенный анализ синтаксических, алгебраических и семантических особенностей типовых классов СиПО, используемых в ИОС [19–30], показал, что при решении большинства прикладных задач рассматриваемого класса можно ограничить спектр рассматриваемых ОП МГ регулярными и контекстно-свободными ОП МГ. В то же время спектр модификаций грамматик, используемых при решении задач управления выбором СиПО в современных ИОС, должен быть достаточно широк и учитывать конкретные особенности решаемых задач. В этом контексте, аналогично [52], могут быть выделены отдельные подклассы ОП МГ, отличающиеся типом дополнительных правил в грамматиках множества  $\{G_i\}$ .

Основной особенностью ОП МГ является использование атрибутных грамматик в ее составе. В данном случае ОП МГ является специальным подклассом атрибутных МГ, представимых в общем случае в виде:  $G_{rc} = \langle \{G_i\}, \{H_{ik}\}, F \rangle$ , где хотя бы одна грамматика  $G_i$ , входящая в множество  $\{G_i\}$ , является атрибутной, а все остальные грамматики не содержат дополнительных экстралингвистических отношений или правил.

В данном случае отдельная атрибутная грамматика  $G_i$ , входящая в ОП МГ представляется в виде формальной системы  $G_{iA} = \langle G_i, A_i \rangle$ , где  $G_i = \langle V_{Ni}, V_{Ti}, S_i, P_i \rangle$  – безатрибутная формальная грамматика,  $A_i = \langle X_i, \Omega_{fi}, \Omega_{pi}, R_i \rangle$  – атрибутная компонента, где  $X_i$  – множество атрибутов;  $\Omega_{fi}$ ,  $\Omega_{pi}$  – множества функций и предикатов, соответственно, заданных на множестве  $X_i$  со значениями в множестве  $R_i$ . Каждому символу  $\alpha_m \in V_{Ni} \cup V_{Ti}$  соответствует некоторое подмножество атрибутов из множества  $X_i$  (т.е. подмножество  $X(\alpha_m)$ , называемое атрибутами символа  $\alpha_m$ ), и при этом выполняются условия:

$$\bigcup_{\alpha_i} X(\alpha_i) = X$$

$$\text{и } X(\alpha_{i1}) \cap X(\alpha_{i2}) = \emptyset, \alpha_{i1} \neq \alpha_{i2}.$$

Все множество атрибутов в грамматике разбито на два непересекающихся подмножества  $x_{yi}$  и  $x_{ci}$  ( $x_{yi} \cup x_{ci} = X_i$  и  $x_{yi} \cap x_{ci} = \emptyset$ ), соответственно унаследованных и синтезированных атрибутов. Значения атрибутов вычисляются в соответствии со следующими правилами [37].

1. Начальное значение унаследованных атрибутов начального символа  $S_i$  задается.

2. Каждому вхождению унаследованного атрибута в правую часть подстановки ставится в соответствие правило его вычисления  $\varphi_i \in (\Omega_{fi} \cup \Omega_{pi})$  как функции (предиката) от некоторых других атрибутов символов левой или правой части данной подстановки.

Применение атрибутных грамматик в схеме ОП МГ при описании СиПО позволяет:

– специфицировать ряд экстралингвистических правил и отношений (включая временные, операционные, семантические) и создать таким образом формальную основу для решения широкого класса задач генерации и анализа

вариантов СиПО;

– в ряде случаев снизить сложность и громоздкость создаваемых моделей за счет исключения дублирования и согласования использования грамматик, входящих в ОП МГ;

– за счет использования дополнительных правил исключить возможность порождения лишних (семантически и алгебраически неправильных) цепочек;

– при создании специальных модификаций правил согласования для атрибутных грамматик [20] существенно снизить сложность процедур синтаксического анализа цепочек СиПО.

Схема атрибутной ОП МГ, в общем случае, содержит правила согласования для всех элементов атрибутных грамматик, входящих в грамматическую сеть.

В схеме ОП МГ могут использоваться и другие известные модификации грамматик [96, 119, 125] и их комбинации при соответствующем использовании правил согласования.

В частности, с учетом особенностей предметной области предложены два основных подкласса ОП МГ, отличающиеся интерпретацией правил типа АР:

– точечные ОП МГ;

– интервальные ОП МГ.

Для точечных ОП МГ правила согласования задаются в виде  $Atki \rightarrow Pmj$ , где  $Atki$  – точечная оценка  $k$ -го унаследованного или синтезированного атрибута  $i$ -й грамматики, входящей в МГ,  $Pmj$  –  $m$ -й набор разрешенных меток продукции  $j$ -й грамматики, входящей в МГ.

Для интервальных ОП МГ правила согласования задаются в виде  $Btki \rightarrow Pmj$ , где  $Btki$  – метка интервала, в который попала оценка  $k$ -го унаследованного или синтезированного атрибута  $i$ -й грамматики, входящей в МГ,  $Pmj$  –  $m$ -й набор разрешенных меток продукции  $j$ -й грамматики, входящей в МГ.

Применение подобных ОП МГ позволяет адаптивно (на основе полученных текущих оценок, в частности, на этапах тестирования студентов) усекать множества используемых продукции при генерации и анализе стратегий и программ рассматриваемого класса.

В ходе рассмотрения предложенной классификационной схемы выделены стохастические и нечеткие ОП МГ, аналогично [42].

Типизация правил согласования, их физическая интерпретация и вытекающие из этого свойства ОП МГ достаточно полно представлены в работах [20–32].

Ряд других разновидностей грамматик, включая графовые, транслирующие, аналогичным образом может быть включен в ОП МГ с соответствующей модификацией правил согласования.

При классификации ОП МГ выделены особенности схемы правил согласования ОП МГ в целом наиболее интересные с точки зрения прикладных исследований (см. рис. 1).

Для наиболее важных для практики случаев будем выделять следующие типы топологических схем, аналогично [42]:

$i=0$  – полностью связанные сети;

$i=1$  – звездообразная топология;

$i=2$  – радиальная топология;

$i=3$  – решетчатая топология;

$i=4$  – кольцевая;

$i=5$  – линейно-возвратная;

$i=6$  – иерархическая (стратифицированная).

В случае использования модификаций данных или других топологических схем будем в явном виде отражать их особенности.

Очевидно, что линейные и многоуровневые метаграмматики являются подклассом иерархических ОП МГ.

Кроме рассмотренных достаточно «общих» ограничений, могут использоваться и ограничения, связанные с возможностью использования в качестве правил согласования многозначных отображений различных типов. Это дает дополнительные возможности по более точной подгонке формальных моделей к границам моделируемых классов СиПО (в структурном смысле) и позволяет повысить эффективность процедур генерации и синтаксического анализа за счет ограничения множеств вариантов вывода (грамматического разбора) [26]. Ряд подобных ограничений рассмотрен в работе [20] при описании синтаксиса и семантики конкретных классов СиПО с использованием обычных и стохастических регулярных и контекстно–свободных ОП МГ.

В целом рассмотрение особенностей предложенных классов ОП МГ показывает, что они, по сравнению с существующими МГ, позволяют снизить объем синтаксических описаний, повысить их наглядность и уменьшить сложность при сохранении мощности порождаемых семейств языков формального моделирования.

С целью определения возможностей применения основных классов ОП МГ для решения конкретных прикладных задач рассматриваемых классов, проведем обобщенный анализ основных формальных свойств ОП МГ и порождаемых ими семейств языков аналогично [42, 51].

В силу направленности исследований на создание формальных моделей синтаксически сложноструктурированных СиПО, которые как искусственные языки по мощности не превосходит мощности контекстно–свободных языков (языков типа 2 [41]), ограничим, аналогично [42], рассмотрение регулярными (тип 3) и контекстно–свободными ОП МГ.

Одним из наиболее важных свойств ОП МГ является эквивалентность их отдельных классов по порождающим возможностям. Это позволяет использовать и заменять эквивалентные классы ОП МГ при описании сложноструктурированных СиПО, руководствуясь соображениями удобства применения, наглядности, компактности формальных моделей.

Определение мощности семейства формальных языков, порождаемого ОП МГ, необходимо при оценке возможности описания конкретного класса СиПО с использованием таких МГ.

Одним из наиболее важных свойств семейств формальных языков, порождаемых ОП МГ, является замкнутость относительно основных алгебраических операций [41], которая определяет возможность дополнения и изменения элементов формальных грамматических моделей при формировании комбинированных описаний СиПО без выхода за пределы данного класса метаграмматик.

В общем случае язык, порождаемый ОП МГ, определяется как множество цепочек  $L(G)=K\{x_m \mid x_m \in V^*_{T(m)}; S_r \Rightarrow^* x_m\}; m,r \in \{1, \dots, N\}$ , где  $V^*_{T(m)}$  – итерация множества  $V_{T(m)}$ ,  $V_{T(m)}$  – множество терминалов грамматики  $G_m$ , входящей в подмножество определенным образом выделенных «завершающих» грамматик  $\{G_m\} \subseteq \{G_i\}$ ;  $S_r$  – начальный нетерминал грамматики  $G_r$ , входящий в подмножество определенным образом выделенных «начальных» грамматик  $\{G_r\} \subseteq \{G_i\}$ ;  $K$  – обозначение определенного рода композиции цепочек  $x_m$  (объединение, конкатенация и т.п.), зависящей от типа и интерпретации правил согласования;  $\Rightarrow^*$  есть рефлексивное и транзитивное замыкание отображения  $\Rightarrow$ .

непосредственного вывода с учетом правил управления и погружения грамматик, входящих в ОП МГ [42].

Выделение подмножеств  $\{G_m\}$  и  $\{G\}$  определяется главным образом спецификой конкретной решаемой прикладной задачи; ограничение набора композиций К, помимо прочего, определяется структурными свойствами моделируемых СиПО, типом и интерпретацией используемых правил согласования, которым должна даваться определенная трактовка в рамках решаемых прикладных задач. В большинстве практических важных случаев в качестве базовых композиций К использованы операции объединения и конкатенации. Эти операции, в определенной степени, соответствуют интерпретациям правил согласования. Для конкретных подклассов ОП МГ форма задания семейств порождаемых (специфицируемых) языков может быть конкретизирована аналогично [42, 51].

Рассмотрение порождающих возможностей отдельных классов предложенных метаграмматик показало, что отдельные подклассы ОП МГ, отличающиеся типом правил согласования, эквивалентны друг другу, что позволяет использовать любой из рассматриваемых подклассов ОП МГ, руководствуясь соображениями удобства применения, наглядности, компактности представления моделируемых СиПО.

В табл. 1 представлен ряд классов эквивалентности для ОП МГ, имеющих в своем составе только обычные атрибутные грамматики (грамматики без дополнительных правил и модификаций, грамматики Хомского [41]), а также при использовании только однозначных отображений в схеме ОП МГ. Доказательства данных свойств представлены в работах [20–25].

Рассмотрение представленной таблицы показывает, что при использовании однотипных правил согласования в регулярных ОП МГ практически все данные метаграмматики входят в один класс эквивалентности, соответствующий по «мощности» семейства регулярных языков. В то же время использование оценочно–продукционных правил согласования позволяет повысить «выразительные» возможности ОП МГ, что соответствует, в частности, второму классу эквивалентности в множестве ОП МГ с оценочно–продукционными правилами согласования.

В случае контекстно–свободных ОП МГ использование даже однотипных правил согласования в ряде случаев выводит ОП МГ за пределы класса эквивалентности, соответствующего по мощности семейству контекстно–свободных языков.

Для отдельных классов ОП МГ в табл. 2 представлены основные доказанные соотношения [20–28], характеризующие мощность порождаемых ими семейств языков.

В частности, замкнутость отдельных классов ОП МГ относительно конкатенации позволяет специфицировать различного рода «сцепления» цепочек СиПО, не выходя за рамки выбранных классов метаграмматик; замкнутость относительно положительной итерации позволяет с использованием простых грамматических спецификаций описывать сложные системы объединяемых СиПО, в том числе и в условиях их модификации и т.п.

В целом рассмотрение формальных свойств базовых классов ОП МГ, являющихся основой для построения более сложных (комбинированных и т.п.) структурно–лингвистических описаний для моделирования СиПО, показало, что данный формальный аппарат, сохраняя большинство положительных свойств обычных грамматик по сравнению с ними, позволяет специфициро-

вать более сложные синтаксические и семантические структуры СиПО.

Таблица 1

Однотипность правил управления и погружения

Однотипность правил управления и погружения	Классы эквивалентности	
	регулярные ОП МГ	контекстно–свободные ОП МГ
Однотипные	{AP(1), AP(2), AP(3) AP(4)}	{AP(1), AP(2), AP(3) AP(4)}
Комбинированные	{(AP(1)+AP(3)), (AP(2)+AP(3)), (AP(1)+AP(4)),...}	{(AP(1)+AP(2)), (AP(1)+AP(3)), (AP(1)+AP(4)),...}

Таблица 2

Регулярные ОП МГ	Контекстно–свободные ОП МГ
$L_G(AP(1)) \subseteq L_{per}$ , $L_G(AP(1)+AP(2)) \subseteq L_{per}$ , $L_G(AP(2)) \subseteq L_{per}$ , $L_G((AP(1)+AP(4))) \subset L_{hc}$	$L_G(AP(1)) \subseteq L_{hc}$ , $L_G(AP(2)) \subset L_{hc}$ ; $L_G(AP(1)+AP(2)) \subseteq L_{hc}$ , $L_G(AP(2)+AP(3)) \subset L_{hc}$

Предложенный класс ОП МГ явился основой для разработки конкретной метаграмматической модели для формального описания и анализа вариантов стратегий и программ обучения [20–28]. Данная модель впервые позволила с использованием в схеме МГ нового класса оценочно–продукционных правил согласования описать сложную иерархическую многоуровневую систему стратегий и программ обучения рассматриваемого класса, реализовать оценочно–ситуационную парадигму усечения используемых продуктов в грамматических моделях.

Модель на основе ОП МГ представляется в виде формальной системы:

$$G = \langle \{G_{1a}^{(1)}, \{G_{12a}^{(2)}\}, G_{1a}^{(3)}, \{G_{i4a}^{(4)}\}, \{G_{i5a}^{(5)}\} \rangle Wap \rangle,$$

где  $G_{1a}^{(1)}$  – регулярная грамматика, описывающая общую стратегию обучения,  $G_{1a}^{(1)} \in \{G_{ra}\}$  – множеству начальных грамматик в ОП МГ;

$\{G_{12a}^{(2)}\}$  – множество контекстно–свободных грамматик, описывающих структуру программ обучения, (для рассматриваемого случая  $i_{2a}=1(1)25$ );

$G_{1a}^{(3)}$  – регулярная грамматика, описывающая порядок изучения тем в программах обучения с учетом повторов и возвратов в случаях неусвоения материала;

$\{G_{i4a}^{(4)}\}$  – множество контекстно–свободных грамматик, описывающих возможные наборы единиц изучаемого материала в темах с учетом повторов;

$\{G_{i5a}^{(5)}\}$  – множество контекстно–свободных грамматик, описывающих синтаксическую структуру вопросов и ответов при тестировании по конкретным темам и единицам изучаемого материала;  $Wap$  – схема ОП МГ, обобщенная структура  $W_{0ap}$ , которой специфицируется следующей матрицей:

		$G_{1a}^{(1)}$	$\{G_{12a}^{(2)}\}$	$G_{1a}^{(3)}$	$\{G_{i4a}^{(4)}\}$	$\{G_{i5a}^{(5)}\}$
	$G_{1a}^{(1)}$		{TS(1),AP,BP}			
$W_0 =$	$\{G_{12a}^{(2)}\}$			{TS(3),AP,BP}	{TS(1),AP,BP}	{TS(1),AP,BP}

	$G_{1a}^{(3)}$				{TP(4), AP, BP}	
	{ $G_{14a}^{(4)}$ }					{TS(1), AP, BP}

Правила {TS(1)} задают иерархическую декомпозицию терминалов более крупных единиц изучаемого материала на цепочки более низкого уровня декомпозиций, правила TS(3) и TP(4) определяют порядок подстановки данных единиц в более крупные внутренние структуры, характеризующие ветви и варианты стратегии обучения, правила AP и BP – определяют ограничения на наборы применяемых в связанных грамматиках продукции в зависимости от вычисленных значений атрибутов (точечных и интервальных тестовых оценок и т.п.).

Детализация конкретных правил согласования и продукции в ОП МГ представлена в работах [20–28].

Предложенная ОП МГ соответствует классу контекстно–свободных МГ с расширенным набором правил согласования. Это позволяет использовать предложенные в известных работах методы и алгоритмы вывода (генерации вариантов) и синтаксического анализа для анализа и выбора вариантов стратегий рассматриваемого класса, имеющие в худшем случае кубическую временную сложность.

При этом:

- существенно снижается сложность и громоздкость используемых эталонных спецификаций за счет использования регулярных и контекстно–свободных грамматик и исключения дублирования грамматик, описывающих сходные варианты стратегий и программ обучения;
- за счет структуризации формального описания повышается оперативность его модификации при изменении отдельных элементов правил реализации стратегий и программ обучения;
- обеспечивается возможность использования эффективных методов полного и неполного синтаксического анализа регулярных и контекстно–свободных многоуровневых метаграмматик, используемых в качестве базовых процедур разрабатываемых методов и алгоритмов выбора стратегии обучения;
- варьируя параметры ОП МГ (наборы правил согласования используемых грамматик), глубину декомпозиции структуры описания, становится возможным определенным образом влиять на характеристики процедур обучения в различных условиях;
- формализация в рамках единой ОП МГ эталонных описаний нескольких классов стратегий и программ обучения позволяет в ряде случаев синтезировать бесповторные процедуры выбора стратегий рассматриваемого класса.

Новизна разработанной эталонной продукционной модели заключается в применении аппарата ОП МГ к формализации сложных структур и параметров стратегий и программ обучения, что создает предпосылки для создания и использования в качестве продукционной основы метода управления эффективных способов направленной генерации и синтаксического анализа.

В целом, по итогам разработки метаграмматических моделей для решения рассматриваемого класса задач, можно сделать следующие выводы.

1. Предложен и исследован новый класс метаграмматик – оценочно–продукционные метаграмматики, позволяющие проводить усечение по результатам оценки атрибутов множества правил подстановки в связанных по правилам со-

гласования грамматиках. Предложенная формализация основных понятий ОП МГ создает необходимый базис для классификации и исследования основных свойств ОП МГ применительно к решаемым прикладным задачам управления.

2. Рассмотрение особенностей предложенных классов ОП МГ показало, что они по сравнению с существующими грамматическими структурами позволяют снизить объем синтаксических описаний, повысить их наглядность и уменьшить сложность при сохранении мощности порождаемых семейств языков формального описания.

3. Для основных классов ОП МГ проведен анализ основных соотношений, характеризующих мощность порождаемых ими семейств языков. В частности, показано, что при использовании однотипных правил согласования в регулярных ОП МГ практически все метаграмматики входят в один класс эквивалентности, соответствующий по мощности семейству регулярных языков. В то же время использование комбинированных правил согласования позволяет повысить выразительные возможности ОП МГ, что соответствует, в частности, второму классу эквивалентности в множестве ОП МГ с комбинированными правилами согласования.

4. Рассмотрена замкнутость отдельных классов ОП МГ относительно основных алгебраических операций, что позволяет синтезировать и модифицировать эталонные метаграмматические модели вариантов СиПО, не выходя за рамки выбранных классов ОП МГ.

5. Разработана метаграмматическая модель системы правил формирования вариантов стратегий и программ обучения на основе нового класса оценочно–продукционных метаграмматик, позволяющая адаптивно (на основе полученных текущих точечных и интервальных оценок атрибутов) усекать множества используемых продукции при генерации и анализе стратегий и программ рассматриваемого класса.

### *3. Особенности метаграмматического метода управления выбором стратегий и программ обучения в интеллектуальных обучающих системах*

На основе предложенной оценочно–продукционной метаграмматической модели разработан метаграмматический метод управления выбором стратегий и программ обучения для ИОС, а также составляющий его процедурную основу отсекающий структурно–лингвистический способ направленной автоматизированной генерации (порождения) и синтаксического анализа вариантов синтаксических структур СиПО рассматриваемого класса.

В данном случае в названии метода отражена специфика используемого для генерации вариантов, анализа и принятия решений математического аппарата метаграмматик, а также ориентированных на этот класс моделей методов порождения и синтаксического анализа формальных языков.

Разработка метода управления рассматриваемого класса в данном случае потребовала решения следующих основных задач:

– разработка метаграмматических моделей вариантов СиПО, отражающих их основные структурные особенности, а также учитывающих ряд атрибутных зависимостей;

– разработка способов генерации и синтаксического анализа цепочек структур СиПО для предложенного класса ОП МГ, создающих основу для реализации процедурной основы метода и включающих также правила принятия решения (правила остановки генерации и синтаксического анализа).

Формальные метаграмматики служат средством задания синтаксиса и се-

мантики формальных языков, т.е. правил соединения отдельных терминальных символов в цепочки, описывающие структурные особенности рассматриваемых классов СиПО. Синтаксическая структура каждой отдельной терминальной цепочки языка, порождаемого данной формальной грамматикой, характеризуется ее деревом вывода, которое является графическим представлением последовательности подстановок, используемых при выводе этой терминальной цепочки из начального нетерминала грамматики или грамматической структуры. Дерево вывода в данном случае рассматривается как структура конкретных СиПО, т.е. при его выводе автоматически генерируется вариант стратегии или программы обучения соответствующий заданным ограничениям и далее проводится его синтаксический анализ.

Синтаксический анализ (СА) – это процедура, которая для любой цепочки символов из некоторого терминального алфавита определяет, принадлежит ли она языку  $L(G)$ , порождаемому формальной грамматикой (в данном случае – ОП МГ)  $G$ , и строит хотя бы одно дерево вывода этой цепочки в грамматике  $G$ , если ответ на первый вопрос положительный. По результатам синтаксического анализа принимается решение о выборе или отвержении сгенерированного варианта СиПО, а конкретное дерево вывода соответствует необходимым цепочкам элементов программ обучения (терминалы грамматик ОП МГ) и управляющим воздействиям (нетерминалы грамматик ОП МГ).

Общие принципы синтаксического анализа и его конкретные особенности рассмотрены в работах [42, 51–93].

Пусть  $G$  – некоторая грамматика и  $\omega \in L(G)$  – цепочка. Цепочка  $\omega$  (синтаксически) проанализирована, если построено хотя бы одно из ее деревьев вывода в грамматике  $G$ .

Пусть  $G = < V_n, V_t, P, S >$  – грамматика, подстановки которой занумерованы числами 1, 2, ... . Левым анализом цепочки  $\omega$  называется последовательность номеров подстановок, примененных при левом выводе цепочки  $\omega$  из начального нетерминала  $S$ .

Правым анализом цепочки  $\omega$  называется обращение последовательности номеров подстановок, примененных при правом выводе цепочки  $\omega$  из начального нетерминала  $S$ .

Существуют различные стратегии синтаксического анализа различных классов грамматик и грамматических структур. Для большинства классов контекстно-свободных и НС грамматик, а также соответствующих грамматических структур можно выделить две основные стратегии для общих методов синтаксического анализа: нисходящий анализ («сверху вниз») и восходящий анализ («снизу–вверх»). Существо каждой из этих стратегий состоит в следующем. В начале синтаксического анализа известны корень дерева вывода (он помечается символом начального нетерминала  $S$ ) и крона дерева вывода (ее листья слева направо помечаются символами терминальной цепочки в порядке их следования). Стратегия нисходящего синтаксического анализа состоит в построении дерева вывода, двигаясь от корня дерева сверху вниз и слева направо и строя промежуточные вершины дерева вплоть до кроны. Стратегия восходящего синтаксического анализа состоит в построении дерева вывода, начиная от кроны и двигаясь снизу–вверх слева направо вплоть до корня дерева.

В случае нисходящего анализа процесс построения дерева вывода анализируемой цепочки отвечает ее левому выводу и приводит к получению левого анализа цепочки. В случае восходящего анализа цепочки построение ее дерева вывода осуществляется в порядке, обратном по отношению к порядку выбора

подстановок в процессе ее правого вывода. Это означает, что восходящий анализ приводит к получению правого вывода цепочки.

Для регулярных грамматик, не содержащих дополнительных правил и атрибутов, задача синтаксического анализа решается достаточно просто путем построения соответствующего конечного автомата. Для случаев использования регулярных и КС– грамматических сетей необходима разработка соответствующих методов, дополнительно учитываяших специфику взаимосвязей между входящими в них грамматиками [42, 51].

С учетом того, что в области метаграмматик исследования и разработки находятся в начальной стадии, большинство ориентированных на них методов и алгоритмов синтаксического анализа являются модификациями известных методов анализа формальных грамматик, дополнительно учитывающих взаимосвязи между грамматиками, а для ряда классов МГ, в том числе и ОП МГ в известных работах пока не предложено формализованных методов синтаксического анализа.

В связи с вышеизложенным ниже представлены результаты разработки на основе ОП МГ метаграмматического метода управления выбором стратегий и программ обучения для ИОС, а также составляющего его процедурную основу отсекающего структурно–лингвистического способа направленной автоматизированной генерации (порождения) и синтаксического анализа вариантов синтаксических структур рассматриваемого класса.

Суть предложенного метаграмматического метода управления заключается в направленной (по текущим оценкам и результатам тестирования обучаемых и групп обучаемых) автоматической генерации вариантов структур стратегий и программ обучения по правилам, заложенным в ОП МГ, их синтаксического анализа в соответствии с текущей ситуацией грамматического разбора, выделения продукции и атрибутов, соответствующих правилам и параметрам управления на текущем шаге и их реализации в процессе обучения. Контроль за принятыми в процессе генерации и синтаксического анализа решениями осуществляется автоматически при реализации последующих шагов синтаксического анализа в ОП МГ.

Метод ориентирован на использование разработанных регулярных и контекстно–свободных ОП МГ, его новизна в первую очередь определяется использованием правил согласования типа «атрибут– метка продукции» или «оценка атрибута– метка продукции», позволяющих на каждом шаге генерации и синтаксического анализа динамически, в соответствии с полученными оценками, отсеять в множестве возможных продукции грамматик в ОП МГ ограниченный набор, применяемых на текущем шаге разбора, и, таким образом, существенно сократить число операций (повысить оперативность) процедур управления.

Предложенный метаграмматический метод управления включает выполнение следующих основных процедур.

1. Ввод исходных данных для принятия решения, актуализация начальных правил и атрибутных зависимостей в модели на основе ОП МГ.

2. Генерация в соответствии с текущими продукциями, атрибутами и правилами согласования в ОП МГ  $G = \langle \{G_{1a}^{(1)}, \{G_{i2a}^{(2)}\}, G_{1a}^{(3)}, \{G_{i4a}^{(4)}\}, \{G_{i5a}^{(5)}\} \}, Wap \rangle$  текущей структуры стратегии (программы) обучения.

3. Вычисление атрибутов (оценок, результатов тестов, времени реализации программы и т.п.) для представленного варианта дерева разбора.

4. Проверка соответствия атрибутов текущим ограничениям. При выполне-

нии ограничений – выдача терминалов и атрибутов, соответствующих управляющим воздействиям и их параметрам на продолжение реализации данного варианта стратегии (программы). Пересчет атрибутов, актуализация текущих правил и продукции – возврат на шаг 2. Если ограничения не выполняются – проверка на завершение анализа. Если анализ завершен – переход на шаг 5. В противном случае – возврат по правилам ОП МГ на шаг назад, исключение проверенных продукции и правил согласования, возвращение значений соответствующих атрибутов – возврат на шаг 2.

5. Выдача терминалов и атрибутов, реализованного дерева разбора для контроля принятых управлеченческих, дообучения системы и т.п. решений. завершение цикла управления для данной группы обучаемых (обучаемого).

В данном методе использование атрибутной компоненты и предложенных правил согласования в ОП МГ позволяет учесть временные оценки и оценки результативности реализуемых процессов обучения для формализованного (автоматизированного) выделения последующих этапов обучения.

В целом, проведенные анализ показал [20–24], что разработанный метаграмматический метод управления выбором стратегий и программ обучения для ИОС, позволяет за счет ограничения правил подстановки на основе атрибутных зависимостей снизить время принятия управлеченческих решений при сохранении требуемого уровня качества процесса обучения.

Для реализации процедурной основы данного метода управления предложен способ генерации и СА ОП МГ, учитывающий специфику используемых оценочно – продукционных правил согласования.

Ниже рассмотрены особенности данного способа с ориентацией на регулярные и КС ОП МГ, входящие в разработанную формальную модель СиПО.

Для реализации процедур на шагах 2 и 3 метаграмматического метода управления предложен отсекающий структурно-лингвистический способ направленной автоматизированной генерации (порождения) и синтаксического анализа вариантов синтаксических структур рассматриваемого класса.

Суть данного способа заключается в выполнении рекурсивной процедуры нисходящей по TS, AP(BP) правилам согласования генерации и последующего грамматического разбора с последовательным предсказанием терминалов в грамматиках всех уровней, кроме самого нижнего (уровень M). Для выбора очередных шагов синтаксического анализа применяются AP(BP) правила согласования. Определяемые в ходе синтаксического анализа значения отдельных параметров стратегий (программ) обучения соответствуют синтезированным или унаследованным атрибутам терминальных или нетерминальных символов отдельных грамматик, входящих в ОП МГ. Эти символы подаются на выход синтаксического анализатора, который после вычисления синтезированных атрибутов начального нетерминала, соответствующих основным параметрам качества синтезированного варианта стратегии (программы) обучения, используются для сравнения с ограничениями, задаваемыми выбранным критерием. Если выполняются все ограничения и основной показатель превосходит соответствующие показатели для ранее сгенерированных и проверенных вариантов структур, то он включается в список допустимых вариантов с наивысшим приоритетом.

Способ, реализующий выполнение генерации и синтаксического анализа ОП МГ заключается в последовательном выполнении следующих основных шагов для всех грамматик  $i_m$  и правил согласования в схеме Wap,  $m=1(1)M$ :

1. В грамматике  $i_m$  уровня m производится поиск наиболее вероятного (при

использующейся записи–самого левого) из еще не использовавшихся контекстно– свободных правил подстановки вида  $\theta_{im}^{(m)} A_{i_m k_m}^{(m)} \longrightarrow a_{i_m j_m}^{(m)}$ , где  $A_{i_m k_m}^{(m)}$  –текущее состояние вектора  $A_{i_m}^{(m)}$  разбора ОП МГ.

Осуществляется вычисление унаследованных атрибутов и, если возможно, ряда синтезированных атрибутов, которые заносятся в вектора  $B_{i_m}^{(m)}$  и  $E_{im}^{(m)}$ .

2. Если в грамматике  $i_m$  уровня  $m$  есть входящие AP(BP) правила согласования из грамматики  $i_{m-1}$  уровня  $(m-1)$ , то также проверяется выделение множеств или одного правила подстановки (р)  $A_{i_{(m-1)} k_{(m-1)}}^{(m-1)} \longrightarrow Q_{i_m}^{(m)} A_{i_{(m-1)} l_{(m-1)}}^{(m-1)}$  в грамматике  $i_{m-1}$ , где  $A_{i_{(m-1)} k_{(m-1)}}^{(m-1)}$  –текущее состояние вектора  $A_{i_{(m-1)}}^{(m-1)}$ .

3. Производится определение TS правила согласования вида  $a_{i_m j_m}^{(m)} \xrightarrow{\delta} S_{i_n}^{(n)}$ , где  $S_{i_n}^{(n)}$  –начальный нетерминал грамматики  $G_{i_n}^{(n)}$  n–го уровня,  $M > n > m$ .

4. В грамматике  $G_{i_n}^{(n)}$  производятся операции, аналогичные операциям, выполняемым на шагах (1)–(3) для грамматики  $G_{i_m}^{(m)}$ .

5. Выполнение подобных операций продолжается для всех грамматик, связанных TS и AP(BP) правилами согласования вплоть до достижения уровня  $M$ , т.е. после перехода  $a_{i_n j_n}^{(n)} \xrightarrow{\delta} S_{i_M}^{(M)}$ .

6. Грамматика уровня  $M$  используется для генерации и анализа соответствующей цепочки, характеризующей структуру стратегии (программы) обучения, при этом используются количественные характеристики унаследованных атрибутов, занесенные в вектор  $B_{i_M}^{(M)}$ .

7. В случае возможности генерации и разбора проводится предсказание по меткам продукции, допустимых по AP(BP) правилам в грамматике  $G_{i_n}^{(n)}$  следующего состояния  $A_{i_n l_n}^{(n)}$  и продолжение анализа вплоть до достижения заключительного состояния в грамматике. Вычисляются и синтезированные атрибуты для терминалов и нетерминалов данной грамматики, выдается сигнал в грамматику  $G_{i_m}^{(m)}$  об успешном выполнении разбора. Синтезированные атрибуты,  $A_{i_m k_m}^{(m)}$ ,  $a_{i_m j_m}^{(m)}$  и позиция конца последней разобранной цепочки заносятся в соответствующие вектора  $E_{im}^{(m)}$ ,  $A_{i_m}^{(m)}$ ,  $a_{i_m}^{(m)}$ ,  $D_{im}^{(m)}$ , далее процесс продолжается, начиная с этого состояния, анализ цепочки в соответствии с шагами (1)–(7).

Входная цепочка считается сгенерированной и разобранной, если возможны ее генерация и анализ, начиная с исходного состояния  $Q_0$ , и в случае, если

$G_{i_m}^{(m)} = G_{i_1}^{(1)}$ . Использование векторов состояний позволяет производить возвраты в случае неудачи с разбором очередной части цепочки и проверить новую ветвь разбора. Для реализации записи векторов состояний могут быть использованы магазины со специальной стековой организацией доступа к содержащему ячейк.

Данный способ может быть реализован с использованием различных вычислительных архитектур, в частности при использовании стандартных вычислительных систем целесообразно реализовать его при использовании для хранения промежуточных результатов генерации и СА отдельных строк памяти или стеков.

Для этого необходимо модифицировать понятие состояния МГ и ввести понятие состояния ОП МГ –  $Q$  вида  $Q = \langle A, a, D, B, E \rangle$

где

$A = (A_{i_1}^{(1)} | A_1^{(2)}, A_2^{(2)}, \dots, A_{N_2}^{(2)} | \dots | A_1^{(m)}, A_2^{(m)}, \dots, A_{N_m}^{(m)} | A_1^{(M)}, A_2^{(M)}, \dots, A_M^{(M)})$  – вектор

текущих нетерминалов МГ;

$a = (a_{i_1}^{(1)} | a_1^{(2)}, a_2^{(2)}, \dots, a_{N_2}^{(2)} | \dots | a_1^{(m)}, a_2^{(m)}, \dots, a_{N_m}^{(m)} | a_1^{(M)}, a_2^{(M)}, \dots, a_M^{(M)})$  – вектор тек-

ущих терминалов МГ;

$D = (D_{i_1}^{(1)} | D_1^{(2)}, D_2^{(2)}, \dots, D_{N_2}^{(2)} | \dots | D_1^{(m)}, D_2^{(m)}, \dots, D_{N_m}^{(m)} | D_1^{(M)}, D_2^{(M)}, \dots, D_M^{(M)})$  – вектор

позиций концов цепочек, генерируемых (разбираемых, анализируемых) с использованием грамматик, входящих в МГ;

$B = (B_{i_1}^{(1)} | B_1^{(2)}, B_2^{(2)}, \dots, B_{N_2}^{(2)} | \dots | B_1^{(m)}, B_2^{(m)}, \dots, B_{N_m}^{(m)} | B_1^{(M)}, B_2^{(M)}, \dots, B_M^{(M)})$  – век-

тор текущих значений унаследованных атрибутов;

$E = (E_{i_1}^{(1)} | E_1^{(2)}, E_2^{(2)}, \dots, E_{N_2}^{(2)} | \dots | E_1^{(m)}, E_2^{(m)}, \dots, E_{N_m}^{(m)} | E_1^{(M)}, E_2^{(M)}, \dots, E_{N_M}^{(M)})$  – вектор текущих значений синтезированных атрибутов.

Для детального описания способа генерации и синтаксического анализа, в работе [20] введены следующие обозначения.

ОП МГ, описывающая в общем случае структуру произвольных СиПО, записана в следующем виде [20]:

$G = \langle G_{i_1}^{(1)}, \{G_{i_2}^{(2)}\}, \dots, \{G_{i_m}^{(m)}\}, \{G_{i_M}^{(M)}\}, \{C_{(i_1, i_2)}^{(1,2)}\}, \dots, \{C_{(i_m, i_j)}^{(m,l)}\}, \dots, \{C_{(i_{M-1}, i_M)}^{(M-1,M)}\} \rangle,$

$i_m = 1_{(1)} N_m, m = 1_{(1)} M, l = 2_{(1)} M, l > m$

В этой МГ множество стохастических атрибутных графовых грамматик М-й страты описывает представление синтаксически различных элементов самого нижнего уровня декомпозиции.

Для обозначения элементов грамматик

$G_{i_m}^{(m)} = (V_{T_m}^{(m)}, V_{N_m}^{(m)}, P_{i_m}^{(m)}, S_{i_m}^{(m)}, A_{i_m}^{(m)})$  будем использовать следующие симво-

лы:

$a_{i_m j_m}$  –  $j_m$ -й терминальный символ грамматики,

$$a_{i_m j_m}^{(m)} \in V_{T_{i_m}}^{(m)}$$

В  $i_m k_m$  –  $k_m$ -й терминальный символ грамматики,

$$B_{i_m k_m}^{(m)} \in V_{N_m}^{(m)}$$

множество  $P_{i_m}^{(m)}$  содержит продукции, имеющие вид:

$$(\Theta)_{I_m}^{(m)} B_{i_m k_m}^{(m)} \rightarrow a_{i_m j_m}^{(m)} A_{i_m l_m}^{(m)} | a_{i_m j_m}^{(m)} T_{i_m}^{(m)},$$

где  $(\Theta)_{I_m}^{(m)}$  – метка правила подстановки,  $T_{i_m}^{(m)}$  – пустой (конечный) терминал.

С целью оценки применимости предложенного способа синтаксического анализа для решения рассматриваемой задачи проведена оценка показателей его временной ( $O(n)$ ) и емкостной ( $E(n)$ ) сложности.

В общем случае, временная сложность предложенного способа синтаксического анализа представлена следующим образом

$$O(n) = C_1 * (\sum_i N_i)^3 + C_2 * (\sum_i N_i)^2 + C_3 * \sum_j N_j + C_4 \quad (1)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – коэффициенты, характеризующие максимальное число шагов, выполняемых при генерации и анализе вариантов в грамматиках  $G_{i_n}^{(n)}$  схемы ОП МГ;

$C_4$  – коэффициент, определяющий максимальное число шагов при анализе одного элемента, входящего в конкретную грамматику ОП МГ;

$C_3$  – коэффициент, определяющий максимальное число шагов при повторных обращениях к одной из грамматик, которая уже была использована при попытке анализа конкретного варианта стратегии (программы);

$N_i$ ,  $N_j$  – число грамматик соответствующих уровней ОП МГ.

Такой способ имеет в общем случае кубическую вычислительную сложность, так как коэффициенты  $C_1 - C_4$ , не зависят от длины цепочки. Для однозначных грамматик –  $O(n) = C_1 * (\sum_i N_i)^2 + C_2 * \sum_j N_j + C_3$ , т.е сложность снижается до квадратичной. Рассмотрение емкостной сложности алгоритма синтаксического приводит к линейному соотношению:

$$E(n) = L_1 * (N_i + N_j) + L_2, \quad j > i, \quad (2)$$

где  $L_1$  – коэффициент, задающий максимальное число записываемых в память цепочек соответствующих грамматик и схем грамматик в скобочной форме;

$L_2$  – коэффициент, определяющий максимальное число элементов, описывающих состояние эталонной ОП МГ;

$N_p N_j$  – число грамматик соответствующих уровней.

Проведенный анализ показал, что отсечение продукции позволяет в большинстве случаев сократить число операций при генерации и СА в наихудшем случае СиПО в 4–8 раз в зависимости от выбранной технологии обучения.

Все это создает основу для практической реализации на существующей вычислительной базе предложенного метода управления и составляющих его компонент (ОП МГ и способа направленной генерации и синтаксического анализа). По результатам разработки метода могут быть сделаны следующие выводы.

1. Разработан метаграмматический метод управления выбором стратегий и программ обучения для ИОС, позволяющий снизить время принятия управлеченческих решений при сохранении требуемого уровня качества процесса обучения.

2. В качестве продукционной основы метода управления разработан отсекающий структурно–лингвистический способ направленной автоматизированной генерации (порождения) и синтаксического анализа вариантов синтаксических структур рассматриваемого класса, позволяющий существенно снизить число генерируемых и анализируемых вариантов для принятия решений при выборе стратегий и программ обучения в ИОС.

3. В целом проведенное рассмотрение предложенного метода управления выбором СиПО и составляющего его процедурную основу способа генерации и синтаксического анализа показало, что их применение создает достаточно хорошие предпосылки для реализации на практике эффективных процедур управления в ИОС. При этом, использование единого аппарата ОП МГ позволяет создать единую теоретическую основу для решения задач управления реального уровня сложности и реализовать основные требования, предъявляемые к подобному классу ИОС.

#### *4. Особенности реализации предложенного метаграмматического метода управления при создании интеллектуальных обучающих систем*

Проведенные исследования явились основой для реализации предложенного способа генерации и синтаксического анализа ОП МГ, являющейся составной частью общей подсистемы управления выбором СиПО, предложенной для использования для ИОС различных классов [28]. В основу построения системы положены представленные выше положения по созданию метода управления выбором стратегий и программ обучения в рамках метаграмматического подхода.

Однако, в отличие от известных систем, в разработанной системе учтены особенности ОП МГ их основных подклассов, рассмотренных выше, и ориентированного на них способа генерации и синтаксического анализа. Учет данных особенностей привел к необходимости модификации классической блок–схемы системы управления, ориентированной на применение обычных грамматик [52], направленной в первую очередь на учет метаграмматического построения моделей и оценочно–продукционных правил согласования, особенностей задания и использования в них атрибутных грамматик, а также специфику вычисления оценок атрибутов в используемых грамматиках [28].

На рис. 2 представлена блок–схема подсистемы синтаксического анализа, являющаяся ядром разрабатываемой системы управления. Основным отличием от известных схем синтаксического анализа является использование дополнительных блоков, реализующих моделирование, генерацию и синтак-

сический анализ ОП МГ.

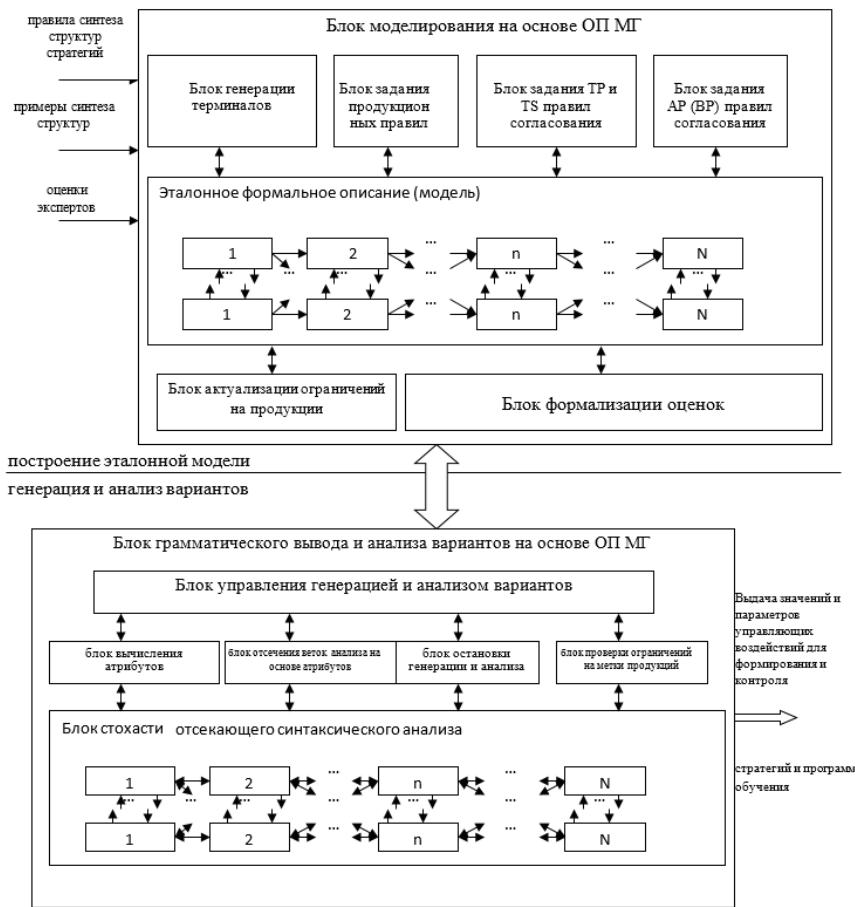


Рис. 2. Блок– схема подсистемы генерации и анализа вариантов стратегий и программ обучения

Кратко рассмотрим особенности решения задач генерации и анализа вариантов СиПО в данной системе.

При решении задач генерации и СА на основе ОП МГ и задаются правила подстановки и согласования в ОП МГ. Исходные данные (в первую очередь – экспертные оценки опытных преподавателей, formalizованные в виде правил) позволяют синтезировать (восстановить по образцам) эталонные ОП МГ с использованием известных модификаций методов Харангозо и Фельдмана для МГ.

При необходимости также задаются субъективные вероятности или нечеткие меры для ОП МГ. При задании атрибутных зависимостей также определяются правила вычисления атрибутов в явной аналитической форме или с

использованием соответствующих имитационных программных продуктов, аналогично [42].

Таким образом задаются структурно–лингвистические модели в виде ОП МГ, определяющие правила генерации и СА СиПО. В блоке грамматического вывода и анализа вариантов на основе ОП МГ в соответствии с правилами подстановки и согласования ОП МГ реализуется предложенный способ генерации и СА с возможностью их интегрированного анализа [51].

При этом могут использоваться вероятности правил подстановки и согласования ОП МГ для определения очередности грамматического вывода по убыванию вероятностей правил, аналогично [49]. В процессе СА структуры конкретного подкласса СиПО автоматически (для простых зависимостей) или с участием эксперта и использованием введенных зависимостей или оценок проводится вычисление унаследованных атрибутов терминалов и нетерминалов грамматик, входящих в ОП МГ. В процессе разбора цепочечных форм, соответствующих синтаксису и семантике СиПО, проводится вычисление синтезированных атрибутов. В соответствии с выбранным критерием подстановки [41] проводится остановка процедуры синтаксического анализа и принятие решения о выборе конкретной структуры стратегии или программы обучения и определения параметров СиПО, необходимых для реализации процедур управления в ИОС.

Важным аспектом является применение процедуры локальной параметрической оптимизации способа на основе полученных в разделе 3 и представленных ниже зависимостей. При выполнении подобных процедур, в соответствии с заданными диапазонами возможных на практике изменений, варьируются значения и локальные особенности применения алгебраических зависимостей и моделей, используемых для вычисления унаследованных и синтезированных атрибутов ОП МГ. Проведенные исследования реальных ИОС показали, что в абсолютном большинстве случаев (более 99%) при изменении параметров обрабатываемых СиПО изменения касаются конкретных правил вычисления унаследованных атрибутов, определяющих характеристики соответствующих структур СиПО. Правила же вычисления синтезированных атрибутов остаются неизменными, хотя сами значения и изменяются в достаточно больших пределах.

В целом, в отличие от классической схемы системы управления в рамках структурно–лингвистического подхода на основе обычных грамматик, представленная система реализует многоэтапные, направляемые по оценочно–производственным правилам согласования и вероятностям переходов процедуры, направленной и ограниченной по алгебраическим зависимостям генерации и СА ОП МГ, что позволяет существенно сократить временную сложность соответствующих общих процедур управления рассматриваемого класса.

При внедрении в практику подобной системы важное значение имеют вопросы ее программной реализации в рамках создания соответствующего пакета специального программного обеспечения (СПО) задания и СА ОП МГ. В результате проведенных исследований и разработок, с ориентацией на решение основных прикладных задач СиПО в ИОС был разработан пакет прикладных программ GNET [51]. Основные задачи при разработке пакета были следующие.

1. Реализация удобного интерфейса с экспертом (пользователем) в области ИОС, а также вопросы согласования программных продуктов по режимам обучения и вводимым тестовым оценкам. В результате проведенных исследований

[30] был выбран вариант программной реализации интерфейса с пользователем, ориентированный на интегрированную производственно-графически-таблично-символьную форму задания ОП МГ. Применение подобной формы обусловлено возможностью использования для описания СиПО регулярных и КС ОП МГ, в которых каждая отдельная грамматика может быть задана в производственной, конечно-автоматной или табличной форме. Атрибутивная компонента и правила согласования задаются в табличной форме аналогично [52].

2. Применение удобных форм задания атрибутивных зависимостей и оценочно-производственных правил согласования. Правила расчета атрибутов реализуются или автоматически (путем подключения соответствующих программ тестового комплекса, символьные обозначения которых соответствуют необходимым терминалам или нетерминалам), или в автоматизированном режиме, при указании эксперту режимов и параметров анализируемых данных [29], в том числе и с использованием программных пакетов тестирования различных производителей [11].

3. Возможность применения как автоматических, так и автоматизированных режимов генерации и СА. Применение автоматизированного режима в этом случае обусловлено сложностью интеграции с другими программными продуктами тестирования общей программной среды рассматриваемой системы, вызванной, в первую очередь, отсутствием соответствующих интерфейсов. По мере доработки и расширения спектра используемых интерфейсных программных модулей собственной разработки будут созданы предпосылки для реализации полностью автоматического варианта генерации и СА для большинства подклассов СиПО, используемых в современных ИОС. При этом задача эксперта, в дополнение к заданию вышеперечисленных входных значений, будет сводиться (при необходимости ограничения перебора) также к заданию перечня допустимых значений атрибутов программных пакетов, рассмотренных в работах [11, 39, 40].

Экспериментальная проверка и апробация предложенного метода проводилась с использованием реализованного программного комплекса GNET, а также существующих комплексов тестирования студентов, обеспечивающих задание и расчет значений атрибутов при синтаксическом анализе.

В качестве исходных данных использовались массивы обучающих и тестовых данных, характеризующих структуру правил и атрибутов СиПО, полученные при реализации одной из наиболее сложных и времязатратных с точки зрения времени генерации и синтаксического анализа образовательных технологий адаптивного индивидуального обучения ИЯ в системе высшего профессионального образования для студентов специальности «Комплексная защита объектов информатизации».

С целью сокращения времени экспериментальной проверки после пробной проверки используемых для вычисления атрибутов СиПО программ, фиксировалось среднее на данном классе задач время их выполнения и в дальнейшем вычисления атрибутов не проводились, а сразу подставлялись соответствующие значения атрибутов.

Экспериментальная проверка предложенных методов управления и способа генерации и СА главным образом была нацелена на определение их наиболее критичных параметров – времени и временной сложности, соответственно. Временная сложность при рассмотрении конкретной вычислительной и специализированной аппаратной платформы позволяет получить оценку времени решения наиболее времязатратного этапа цикла управления выбором СиПО при

решении рассматриваемого класса задач и типовых, в том числе и динамично меняющихся условий решения существующих и перспективных задач в ИОС.

Общее время решения задач управления вычисляется путем добавления к времени генерации и СА также времени решения ряда основных задач цикла управления [16].

В ходе экспериментов проводились оценки среднего времени решения рассматриваемых задач управления, генерации и СА ОП МГ в зависимости от числа элементов массива (терминалов, включенных в СиПО) и использования оценочно–продукционных правил согласования при выборе шагов анализа (стохастических зависимостей, времени выполнения различного рода тестов (расчета оценок).

Ряд полученных экспериментальных зависимостей, характеризующих оперативность решения задач управления с использованием предложенного метода и его сравнения с известными методами синтаксического анализа представлены на рис.3 и 4. Данные зависимости с достаточной степенью совпадают с теоретическими зависимостями и создают основу для параметрической оптимизации подобных систем управления.

Данный результат достаточно важен в силу того, что для систем, реализующих структурно–лингвистические методы, в настоящее время не разработано соответствующих общих методов оптимизации. Оптимизация с использованием полученных экспериментальных зависимостей может рассматриваться как подкласс графо–аналитических алгоритмов оптимизации, что создает отправную точку к решению в дальнейших исследованиях ряда более общих задач оптимизации, учитывающих время обучения, сложность создаваемых структурно–лингвистических моделей и ряд других параметров подобных систем [52].

Проведенные экспериментальные исследования предложенного отсекающего структурно–лингвистического способа генерации и синтаксического анализа показали, что он имеет для однозначных ОП МГ квадратичную временную и линейную емкостную сложность и позволяет при управлении формированием реальных стратегий и программ в 5–4 раз сократить число операций генерации и анализа вариантов стратегий и программ управления по сравнению с лучшим из известных методов синтаксического анализа. Это позволяет в целом на 30–40% сократить время принятия управлеченских решений при сохранении требуемого уровня качества управления выбором стратегий и программ обучения в ИОС.

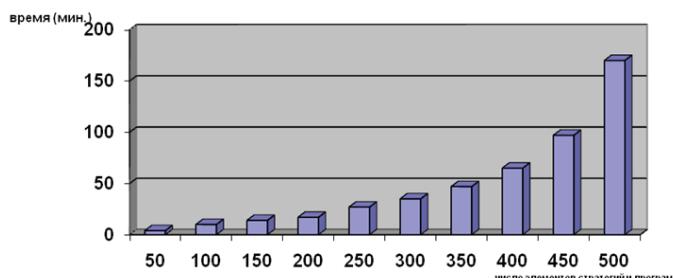


Рис. 3. Зависимости времени синтаксического анализа до выбора варианта стратегий и программ с использованием КС ОП МГ

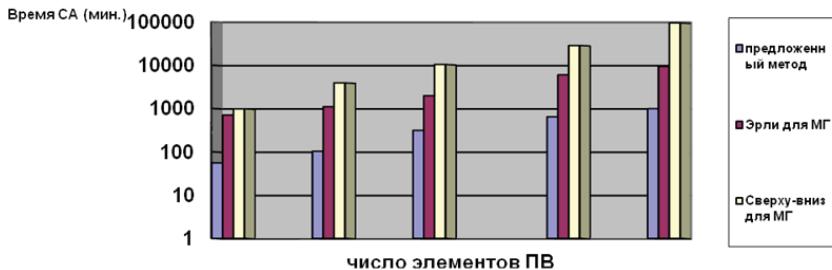


Рис. 4. Сравнительная оценка предложенного и известных методов синтаксического анализа

##### 5. Заключение

Полномасштабная информатизация всех сторон образовательной деятельности и внедрение перспективных автоматизированных мониторинговых, текстовых и управляющих подсистем, реализующих данные технологии, стали в последние годы доминирующими направлениями при создании перспективных ИОС различного назначения.

В монографии с единых позиций аппарата теории оценочно – продукционных метаграмматик рассмотрены вопросы разработки метода управления выбором стратегий и программ обучения для ИОС. Предложен и исследован новый класс метаграмматик – оценочно–продукционные метаграмматики, позволяющие проводить усечение по результатам оценки атрибутов множества правил подстановки в связанных по правилам согласования грамматиках.

Разработана метаграмматическая модель системы правил формирования вариантов стратегий и программ обучения на основе нового класса оценочно–продукционных метаграмматик, позволяющая адаптивно (на основе полученных текущих точечных и интервальных оценок атрибутов) усекать множества используемых продукции при генерации и анализе стратегий и программ рассматриваемого класса.

Разработан метаграмматический метод управления выбором стратегий и программ обучения для ИОС, позволяющий существенно снизить время принятия управлеченческих решений при сохранении требуемого уровня качества процесса обучения.

В качестве продукционной основы метода управления разработан отсекающий структурно–лингвистический способ направленной автоматизированной генерации (порождения) и синтаксического анализа вариантов синтаксических структур рассматриваемого класса, позволяющий существенно (в 5–6 раз) снизить число генерируемых и анализируемых вариантов для принятия решений при выборе стратегий и программ обучения в ИОС.

Представлена блок–схема подсистемы синтаксического анализа, являющаяся основной компонентой разрабатываемой системы управления и отличающаяся от известных схем синтаксического анализа использованием дополнительных блоков, реализующих моделирование, генерацию и синтаксический анализ ОП МГ.

Рассмотрен ряд результатов экспериментальной проверки предложенного теоретического аппарата при решении конкретных прикладных задач в рассматриваемой области.

## Список литературы

1. Стефанюк, В.Л.Введение в интеллектуальные обучающие системы/ М., РУДН, 2010.
2. Shapiro J.A. An Algebra Subsystem for Diagnosing Students' Input in a Physics Tutoring System.
3. VanLehn K. (et al.) The Andes Physics Tutoring System: Lessons Learned.
4. Baker R.S.J.d. (et al.) Towards Sensor-Free Affect Detection in Cognitive Tutor Algebra.
5. Baker R.S.J.d. (et al.) Labeling Student Behavior Faster and More Precisely with Text Replays
6. Смирнова Н.В. Автоматизированный анализ психического состояния студентов по истории их работы в следящей интеллектуальной обучающей системе.
7. B. de Boulay, Soldato T. Implementation of motivational tactics in tutoring systems.
8. Васильев С.Н. Методы интеллектуализации компьютерных средств дистанционного обучения: архитектура интеллектуальной обучающей системы и логико-оптимизационные модели // Труды первой Междунар. конф. «Интеллектуальные технологии и средства реабилитации людей с ограниченными возможностями (ИТСР–2010)». М.: Изд–во МГСГИ. 2010, с. 20–28.
9. Рыбина Г.В. Современные подходы к реализации интеллектуального компьютерного обучения на основе разработки и использования обучающих интегрированных экспертных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 5. С. 10–15.
10. Рыбина Г.В. Обучающие интегрированные экспертные системы: некоторые итоги и перспективы// Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 1. С. 22–46.
11. Рыбина Г.В. О разработке и использовании обучающих интегрированных экспертных систем для вузовского обучения и подготовки персонала на промышленных предприятиях // Материалы XIV научно–практич. конф. «Ренжиниринг бизнес–процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями» (РБП–СУЗ–2011). М.: МЭСИ. 2011. С. 247–250.
12. Брусиловский П.Л. Адаптивные и интеллектуальные технологии в сетевом обучении // Новости искусственного интеллекта. 2002. № 5. С. 25–31.
13. Голенков В.В., Гулякина Н.А., Тарасов В.Б., Елисеева О.Е. и др. Интеллектуальные обучающие системы и виртуальные учебные организации. Мин.: БГУИР. 2001.
14. Кручинин, В.В. Разработка компьютерных учебных программ/ В.В. Кручинин.–Томск: Изд–во Том.ун–та, 1998.–211с.
15. Кручинин, В.В. Генераторы в компьютерных учебных программах/ В.В. Кручинин.–Томск: Изд–во Том.ун–та, 2003.–200с.
16. Жуков, В.К. Новые подходы к организации контроля знаний в вузе/ В.К. Жуков и др// Известия МАН ВШ.–2004.–№2(28).–С.113–118
17. Кобзев, А.В. Организация дистанционного обучения в условиях интеграции вузов/ А.В.Кобзев и др./Высшее образование сегодня.–2005.–№3.–С.24–29.
18. Емельянов, С.Г.Особенности применения структурно–лингвистического подхода на основе метаграмматик при выборе стратегии управления сложноструктуризованными объектами и системами /С.Г.Емельянов, О.И.Атахищев, И.В.Атахищева//Перспективные системы и задачи управления: сб.материалов ко 2–й Всероссийской научно–практической конференции–КЧР Домбай.–2007.–С.27–29.
19. Атахищева, И.В.Особенности использования структурно–лингвистического метода для решения задач управления в автоматизированных системах обучения иностранному языку /И.В.Атахищева//Язык для специальных целей: система, функции, среда: сб.материалов ко 2–й Всероссийской научно–практической конференции–Курск.–2008.–С.34–35.
20. Атахищева, И.В. Особенности использования компьютерных технологий в сфере обучения иностранным языкам в системе высшего профессионального образования. /И.В.Атахищева// Язык для специальных целей: система, функции, среда: материалы третей Всероссийской научно–практической конференции.– Курск,2010.–С.10–12.
21. Атахищева И.В., Атахищев А.О. Основные принципы создания подсистем управления выбором стратегий и программ обучения автоматизированным обучающим системам. /И.В.Атахищева, А.О. Атахищев// Образование. Инновации. Качество: материалы IV Международной научно–методической конференции.–Курск,2010.–С.205–207.
22. Атахищева, И.В.Управление выбором стратегий и программ обучения иностранному

- языку в автоматизированных обучающих системах высшего профессионального образования на основе структурно-лингвистического подхода (монография). [Текст]// Москва: МТУСИ, Атакищева И.В. . Емельянов С.Г., Атакищев О.И.,2010.–120c
23. Емельянов С.Г., Атакищева И.В. Особенности структурно-лингвистических моделей для описания вариантов реализации сложноструктурных стратегий автоматизированного обучения английскому языку./С.Г.Емельянов, И.В.Атакищева.//Образование. Инновации. Качество: материалы IV Международной научно–методической конференции.–Курск,2010.–С.224–226.
24. Атакищева, И.В.Концептуальная модель управления формированием структуры адаптивных программ и курсов обучения иностранному языку./И.В. Атакищева, О.И.Атакищев, С.Г.Емельянов, //Известия Юго–Западного государственного университета. Серия Технические науки. Вып№1(46)–Курск:Изд–во Юго–Западный ГУ,2013.–С.31–35.
25. O.I.Atkishchev [et.all] The use of structural linguistic methods for processing of vector geo-information data in the SXF format. Telecommunications and radio engineering. Begell House Inc., USA. vol.62, 2004. P.9–21.
26. O.I.Atkishchev [et.all]. Algorithm of synchronous digital hierarchy signal recognition. Telecommunications and radio engineering. Begell House Inc, USA. vol.62, 2004. P.309–313.
27. O.I.Atkishchev.Metagrammars and Particularities in their application to formal description of signals and protocols. Telecommunications and radio engineering. Begell House Inc., USA. vol.62, 2004. P.497–509.
28. O.I.Atkishchev [et.all].Application of grammars with  $\beta$ –controlled precursor for solving the problems of structural and linguistic signal recognition in synchronous digital hierarchy. Telecommunications and radio engineering. Begell House Inc., USA. vol.62, 2004. P.509–515.
29. Атакищев О.И., Емельянов С.Г., Николаев В.Н., Шиленков М.В. Моделирование процессов создания и управления распределенными коллективными геоинформационными системами. /ТНТ, Старый Оскол, 2009.
30. Атакищев О.И. Метаграмматики и особенности их применения для формального описания сигналов и протоколов документальных служб связи и передачи данных. Части 1, 2// Телекоммуникации №10, 12. М.:Машиностроение, 2001.
31. Аджемов С.С., Емельянов С.Г., Атакищев О.И., Макаренков С.А. Формальные грамматики, метаграмматики, грамматические сети и их применение при решении задач поддержки принятия решений, МТУСИ.–2010.
32. Атакищева, И.В.Эталонная модель двойственно–атрибутивной транслирующей метаграмматики и структурно–лингвистический способ обработки сложноорганизованных данных [Текст]// И.В.Атакищева, С.Г. Емельянов, С.В. Жижина [и др.]//Известия Тульского государственного университета. Серия Технологическая систематика.Вып.14–Тула:Изд–во ТулГУ,2006.–С.24–28.
33. Атакищева, И.В.Общие особенности концептуальной модели процесса управления формированием структуры курсов обучения иностранному языку студентов технических специальностей[Текст]// И.В.Атакищева, //Известия Тульского государственного университета. Серия Технологическая систематика. Вып.15–Тула:Изд–во ТулГУ,2006.–С.23–29.
34. Емельянов, С.Г.Основные особенности применения метаграмматик для формального описания вариантов сложноструктурированных стратегий автоматизированного обучения [Текст]// С.Г.Емельянов, О.И. Атакищев, И.В.Атакищева,[и др.]// Известия Тульского государственного университета. Серия Технологическая систематика. Вып.15–Тула: Изд–во ТулГУ, 2006.–С.48–55.

---

**Атакищев Олег Игоревич** – д–р техн. наук, профессор, проректор по перспективным исследованиям, ФГБОУ ВПО «Юго–Западный государственный университет», Россия, Курск.

**Атакищева Ирина Викторовна** – канд. техн. наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВПО «Юго–Западный государственный университет», Россия, Курск.

---