УДК 004.93:159.95

МОДЕЛЬ ФОРМАЛЬНОЙ ТЕОРИИ В ВИДЕ КОММУТАТИВНОЙ ПОЛУГРУППЫ ОБРАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

О. В. Бисикало, И. А. Кравчук, А. А. Кириленко

МОДЕЛЬ ФОРМАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ У ВИГЛЯДІ КОМУТАТИВНОЇ НАПІВГРУПИ ОБРАЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ

О. В. Бісікало, І. А. Кравчук, Г. О. Кириленко

FORMAL THEORY MODEL IN THE FORM OF COMMUTATIVE SEMIGROUP OF IMAGE CONSTRUCTIONS

O. V. Bisikalo, I. A. Kravchuk, H. O. Kyrylenko

Разработана формальная теория первого порядка, предполагающая построение модели в виде коммутативной полугруппы конструкций из языковых образов. На основе 15-ти аксиом сформулированы и доказаны теоремы, позволяющие обеспечить базовые функции поддержки ограниченного понятием языкового образа типа диалога.
Ключевые слова: формальная теория, коммутативная полугруппа, языковый образ, образная конструкция, поддержка диалога.

Розроблена формальна теорія першого порядку, що припускає побудову моделі у вигляді комутативної напівгрупи конструкцій з мовних образів. На основі 15-ти аксіом сформульовані і доведені теореми, що дозволяють забезпечити базові функції підтримки типу діалогу, який обмежений поняттям мовного образу.
Ключові слова: формальна теорія, комутативна напівгрупа, мовний образ, образна конструкція, підтримка діалогу.

First-order formal theory assuming model building in the form of commutative semigroup of language images constructions is developed. Theorems providing base functions which maintain dialog limited by language image concept are formed and proved on the basis of 15 axioms.
Keywords: formal theory, commutative semigroup, language image, image construction, dialog maintenance.

1. Введение

Возрастающая сложность современных технологий машиностроения и других отраслей промышленности приводит к необходимости создания и оперативной обработки большого количества сопровождающей документации. Объемы генерируемой технологической информации уже давно превысили предел сложности осознания инженерными специалистами, причем сама по себе электронная форма информации не обеспечивает необходимой точности поиска нужных знаний. Особенно актуальна задача пошагового нахождения требуемой специализированной естественно-языковой (ЕЯ) информации при обучении и повышении квалификации современных инженеров.

Актуальность разработки математических моделей и методов поддержки интерактивного взаимодействия человек-компьютер подтверждается основными тенденциями развития современных информационных технологий, включая *Semantic WEB*. Исключительную важность обеспечения диалога между человеком и машиной демонстрирует термин *AI*-полная задача, присвоенный известному тесту Тьюринга на интеллектуальность искусственных систем [1]. Многозначность естественных языков пока еще остается непреодолимым барьером для алгоритмов поддержки универсальных вопрос-ответных систем [2], поэтому перспективным направлением является построение моделей для решения частных задач направленного поиска информации с помощью диалога.

С целью развития исследований в данном направлении в работе [2] предложен подход к обеспечению нескольких ограниченных типов диалога на основе формализации понятия образного смысла и ассоциативного образного поиска. К числу таких возможных ограничений относятся:

- «дельфийский оракул» – ответ представлен в виде множества слов, ассоциативно связанных с вопросом;
- «магистр Йода» – ответом является цитата из литературного произведения, связанная с вопросом по смыслу;

«*Basic English*» – слова ответа составляют только смысловой каркас без строгого соответствия морфологическим и синтаксическим правилам соединения слов предложения.

2. Постановка проблемы

В условиях направленного поиска специализированной информации *AI*-полная задача извлечения смысла из текста может быть сведена к обеспечению нескольких последовательных операций. На первом этапе достаточно найти наиболее релевантные запросу пользователя тексты из соответствующего репозитория. Поскольку общий смысл текста далеко не всегда покажет наличие требуемой информации необходимо или усовершенствовать формулировку запроса, что сопровождается дополнительными временными затратами и не всегда приводит к цели, или же исследовать текст в режиме диалога. При этом очень важно использовать механизмы обобщения лексической информации на основе формальных понятий, одним из которых является предложенное в [4] понятие языкового образа (ЯО). Проблема состоит в построении такого математического аппарата, который обеспечит формальную поддержку диалога с пользователем на основе обобщения информации каждого предложения текста понятием ЯО.

3. Анализ исследований и публикаций

С формальной точки зрения решение рассмотренной проблемы представляет собой нахождение частных решений класса *NP*-полных задач исходя из введенной системы ограничений на многозначность каждого слова предложения. Ключевым ограничением является понятие языкового образа – это множество однокоренных слов, характеризирующих отдельный образ исходя из морфемной классификации – такое понятие обобщает словарную статью или лексему [4-6], в форме которых задаются понятия в онтологии выбранной предметной области.

Изучение научных публикаций по теоретическим аспектам вопрос-ответных систем показывает, что наибольшее развитие получили методы поддержки узконаправленных видов диалога, ограниченных функциональными возможностями и математическими формализмами [2, 7-9]. При этом такие наиболее общие математические теории, как теория групп, позволяющие оперировать обобщающими лексическими понятиями, для поддержки диалога в научной литературе не описаны.

С другой стороны, коммутативные полугруппы [10-12] как наиболее перспективный аппарат для достижения поставленных целей, исследовались теоретически [13] или использовались для решения других задач [14].

4. Формулировка целей статьи

Цель работы – построение формальной теории, позволяющей на уровне модели обеспечить поддержку ограниченного понятием языкового образа типа диалога для каждого предложения некого фиксированного текста. При этом известными являются синтаксические связи между всеми значимыми словами каждого предложения и соответствующие этим словам ЯО. Значимыми согласно [4] будем считать слова, принадлежащие 4-м частям речи – существительные, глаголы, прилагательные и наречия.

5. Формальная теория

Зададим формальную теорию Th как прикладную теорию первого порядка на основе известных результатов теории формальных систем [15] с учетом ограничений предложенного понятия образного смысла ЕЯ конструкций [4].

1. Введем конечный алфавит из символов, которые будут использоваться в дальнейшем как обозначения:
   a) $Al = \{A, B, ..., Z, x_1, x_2, ..., x_n, t_1, t_2, t_3\}$ – переменных;
   b) $Con = \{\varnothing, 1, ..., n\}$ – констант;
   c) $\{\backslash, \oplus\}$ – символов бинарных операций, определения которых дадим ниже;
   d) $\{=\}$ – бинарного предикатного символа «равно» в теоретико-множественном значении;
   e) $\{\neg, \rightarrow, \forall\}$ – логических связок и кванторов, где $\neg$ – отрицание (не), $\rightarrow$ – логическое следование (если …, то …), $\forall$ – квантор общности;
   f) скобок «(», «)» и запятой «,».

В соответствии с формализованным понятием образного смысла ЕЯ конструкций [1] будем полагать, что символы из с) обозначают:

$\backslash$ – связь между двумя образами в ассоциативной паре $\omega \in \Omega$, интерпретируемая в дальнейшем в лингвистическом значении;

$\oplus$ – операция объединения образных конструкций «PLUS ОК».

2. Определим процедуры построения термов (строк символов) и формул (допустимых выражений) формальной теории Th. Термы получаем с помощью процедуры конкатенации символов алфавита:
   a. $< Терм >::= x_i j \mid x_i \in Al, j \in Con$;

      $< Терм >::=< Терм >< Терм >$.

      Обозначим буквами $t_1, t_2, t_3 \in Al$ следующим образом построенные термы в ассоциативной нормальной форме (АНФ)

      $< АНФ\omega >::= x_i \backslash x_j \mid x_i, x_j \in Al$;

      $< АНФтерм >::=< АНФ\omega >$;

      $< АНФтерм >::=< АНФтерм > \oplus < АНФтерм >$,

   где $< АНФ\omega >$ будем называть элементарным термом в АНФ.
   b. Для упрощения восприятия буквами $A, B, ..., Z \in Al$ отдельно обозначим построенные так формулы

      $< Формула >::=< АНФтерм >$;

      $< Формула >::= (< Формула >)$;

      $< Формула >::= \neg < Формула >$;

      $< Формула >::=< Формула > \to < Формула >$;

      $< Формула >::= (\forall x) < Формула >$.

Для удобства использования в состав алфавита теории Th введем еще 3 логические связки, квантор и функциональный символ

$A \,\&\, B ::= \neg(A \to \neg B)$;

$A \vee B ::= \neg A \to B$;

$A \Leftrightarrow B ::= (A \to B) \,\&\, (B \to A)$;

$(\exists x)(A) ::= \neg(\forall x)(\neg A)$;

$x_i \times x_j ::= (x_i \backslash x_j) \oplus (x_j \backslash x_i)$,

где $\&$ – логическое «И», $\vee$ – логическое «ИЛИ», $\Leftrightarrow$ – тогда и только тогда, $\exists$ – квантор существования, $\times$ – прикладной функциональный символ, определение которого будет дано ниже через символ $\backslash$. В дальнейшем формулу A, в которой переменная $x_i \in Al$ или терм t_1 связаны одним из кванторов, будем обозначать как $A(x_i)$ либо $A(t_1)$.

3. Выделим множество формул, которые будем считать схемами аксиом.
   Логические аксиомы (3.1–3.3 – исчисления высказываний, 3.4–3.5 – исчисления предикатов первого порядка):
   3.1. $A \to (B \to A)$.
   3.2. $(A \to (B \to C)) \to ((A \to B) \to (A \to C))$.
   3.3. $(\neg B \to \neg A) \to ((\neg B \to A) \to B)$.

3.4. $\forall x_i A(x_i) \to A(t_1)$ [где $A(x_i)$ – формула из Th и t_1 – терм из Th, свободный для x_i в $A(x_i)$].

3.5. $\forall x_i (A \to B) \to (A \to \forall x_i B)$ [при условии, что формула A не содержит свободных вхождений x_i].

Собственные аксиомы (3.6–3.11 – аксиомы коммутативной полугруппы, 3.12–3.15 – прикладные аксиомы (продукции) теории):

3.6. $\forall t_1 \forall t_2 \forall t_3 (t_1 \oplus (t_2 \oplus t_3) = (t_1 \oplus t_2) \oplus t_3)$ (ассоциативность).

3.7. $\forall t_1 (t_1 = t_1)$ (рефлективность).

3.8. $\forall t_1 \forall t_2 (t_1 = t_2 \to t_2 = t_1)$ (симметричность).

3.9. $\forall t_1 \forall t_2 \forall t_3 (t_1 = t_2 \to (t_2 = t_3 \to t_1 = t_3))$ (транзитивность).

3.10. $\forall t_1 \forall t_2 \forall t_3 (t_2 = t_3 \to (t_1 \oplus t_2 = t_1 \oplus t_3) \,\&\, (t_2 \oplus t_1 = t_3 \oplus t_1))$ (подстановка).

3.11. $\forall t_1 \forall t_2 (t_1 \oplus t_2 = t_2 \oplus t_1)$ (коммутативность).

3.12. $\forall x_i, x_j, x_k (x_i j x_k \to x_j \setminus x_i \oplus x_k)$ (преобразование строки в термы в АНФ).

3.13. $\forall x_i, x_j (x_i j \to x_j \setminus x_i)$ (конечное преобразование строки в терм в АНФ).

3.14. $\forall x_i, x_j (x_i \setminus x_j \oplus x_i \setminus x_j \to x_i \setminus x_j)$ (сокращение терма в АНФ).

3.15. $\forall t \ \ (t \to (\varnothing \oplus t) \vee (t \oplus \varnothing))$ (объединение терма с пустым множеством $\varnothing$).

4. Определим конечное множество правил вывода, позволяющих получить с некоторого конечного множества формул другое множество формул

$A, A \to B \mapsto B$ «Modus ponens»,

$A \mapsto (\forall t) A$ «правило обобщения»,

где $\Gamma \mapsto A$ означает, что А есть следствием множества формул Г.

Кроме теорем формальной теории предикатов первого порядка, в теории Th справедливы следующие собственные теоремы:

Теорема 1. $<Терм> \to <АНФтерм>$.

Доказательство индукцией по длине вывода $B_1, B_2, ..., B_k = B$:

а) $<Терм>$ – гипотеза;

б) $x_1 j$ – база индукции: исходя из 1-го определения терма (2.а.);

в) $x_j \setminus x_1$ – 3.13 к б);

г) $<АНФтерм>$ – согласно 1-му определению терма в АНФ;

д) $x_1 j x_2 i$ – или исходя из 2-го определения терма;

е) $x_j \setminus x_1 \oplus x_2 i$ – 3.12 к д);

ж) $x_j \setminus x_1 \oplus x_i \setminus x_2$ – 3.13 к е);

з) $<АНФтерм>$ – согласно 2-му определению терма в АНФ;

и) $\underbrace{x_1 j x_2 i ...}_{k-1} x_k l$ – индукционный переход: исходя из 2-го определения терма;

к) $<АНФтерм> \oplus x_k l$ – 3.12 к и) k-1 раз;

л) $<АНФтерм> \oplus x_l \setminus x_k$ – 3.13 к к);

м) $<АНФтерм>$ – согласно 2-му определению терма в АНФ.

Теорема 2. $<АНФтерм> \to <АНФq> \oplus <АНФ?> \oplus <АНФa>$,

где $<АНФ\omega>=x_i \setminus x_j \mid x_i, x_j \in Al$ для удобства использования обозначим как $<АНФ?>$;
$<АНФa>$ – все элементарные термы из $<АНФтерм>$, в которых символ x_j является первым (например, $<АНФ\omega>=x_j \setminus x_k$, где $k \in Con$), затем рекурсивно вставляется следующий символ по принципу поиска в глубину в дереве графа, но, если в рекурсии находится $<АНФ?>=x_j \setminus x_i$, то эта ветвь поиска на этом прерывается (символ x_i и все следующие за ним не учитываются);
$<АНФq>$ – все остальные за исключением $<АНФ?>\oplus<АНФa>$ элементарные термы, составляющие $<АНФтерм>$.
Доказательство по всем возможным вариантам построения терма в АНФ:

а) $<АНФтерм>$ – гипотеза;
б) $x_i \setminus x_j \mid x_i, x_j \in Al$ – элементарный вариант: в соответствии с 1-м определением терма в АНФ;
в) $<АНФ?>$ – по определению в теореме 2;
г) $\varnothing\oplus<АНФ?>\oplus\varnothing$ – 3.15 к в) дважды;
д) $<АНФq>\oplus<АНФ?>\oplus<АНФa>$ – при условии $<АНФq>=\varnothing, <АНФa>=\varnothing$;
е) $x_j \setminus x_1\oplus<АНФ?>$ – первое возможное усложнение варианта б) согласно 2-му определению терма в АНФ;
ж) $<АНФ?>\oplus x_j \setminus x_1$ – 3.11 к е);
з) $<АНФ?>\oplus<АНФa>$ – при условии $<АНФa>=x_j \setminus x_1$;
и) $\varnothing\oplus<АНФ?>\oplus<АНФa>$ – 3.15 к з);
к) $<АНФq>\oplus<АНФ?>\oplus<АНФa>$ – при условии $<АНФq>=\varnothing$;
л) $x_1 \setminus x_i\oplus<АНФ?>$ – второе возможное усложнение варианта б) согласно 2-му определению терма в АНФ;
м) $<АНФq>\oplus<АНФ?>$ – при условии $<АНФq>=x_1 \setminus x_i$;
н) $<АНФq>\oplus<АНФ?>\oplus\varnothing$ – 3.15 к м);
о) $<АНФq>\oplus<АНФ?>\oplus<АНФa>$ – при условии $<АНФa>=\varnothing$;
п) $<АНФa>\oplus x_j \setminus x_2 \oplus x_1 \setminus x_3$ – снимаем условие $<АНФa>=x_j \setminus x_1$ для з) согласно 2-му определению терма в АНФ;
р) $<АНФa>$ – по определению $<АНФa>$ в теореме 2;
с) $<АНФq>\oplus x_2 \setminus x_i \oplus x_3 \setminus x_1$ – снимаем условие $<АНФq>=x_1 \setminus x_i$ для м) согласно 2-му определению терма в АНФ;
т) $<АНФq>$ – по определению $<АНФq>$ в теореме 2, а именно тогда, когда терм в АНФ $x_2 \setminus x_i \oplus x_3 \setminus x_1\oplus<АНФ?>\oplus<АНФa>$ не допускает сокращения согласно с аксиомой 3.14.

Теорема 3. $<АНФa^j>\rightarrow<АНФa_1^j>\oplus<АНФa_2^j>$,
где $<АНФa^j>$ – поддеревья элементарных термов, соответствующие условиям теоремы 2 и для которых символ x_j является корневым;

$< AHФa_1^j >$ та $< AHФa_2^j >$ – элементарные термы, соответствующие принципу построения $< AHФa^j >$, но найденные в двух различных термах $< AHФтерм_1 >$ и $< AHФтерм_2 >$.
Доказательство по всем возможным вариантам построения терма $< AHФa^j >$ из термов $< AHФтерм_1 >$ и $< AHФтерм_2 >$:

а) $< AHФa^j >$ – гипотеза;
б) $< AHФa_1^j >$ – при условии наличия $< AHФ\omega >= x_j \setminus x_k$, где $k \in Con$ в составе $< AHФтерм_1 >$;
в) $< AHФa_1^j > \oplus \varnothing$ – 3.15 к б);
г) $< AHФa_1^j > \oplus < AHФa_2^j >$ – при условии $< AHФa_2^j >= \varnothing$ и отсутствия $< AHФ\omega >= x_j \setminus x_k$, где $k \in Con$ в составе $< AHФтерм_2 >$;
д) $< AHФa_1^j > \oplus < AHФa_2^j >$ – при условии наличия $< AHФ\omega >= x_j \setminus x_k$, где $k \in Con$ в составе $< AHФтерм_2 >$;
е) $< AHФa_2^j >$ – при условии наличия $< AHФ\omega >= x_j \setminus x_k$, где $k \in Con$ в составе $< AHФтерм_2 >$;
ж) $\varnothing \oplus < AHФa_2^j >$ – 3.15 к е);
з) $< AHФa_1^j > \oplus < AHФa_2^j >$ – при условии $< AHФa_1^j >= \varnothing$ и отсутствия $< AHФ\omega >= x_j \setminus x_k$, где $k \in Con$ в составе $< AHФтерм_1 >$;
и) $< AHФa_1^j > \oplus < AHФa_2^j >$ – при условии наличия $< AHФ\omega >= x_j \setminus x_k$, где $k \in Con$ в составе $< AHФтерм_1 >$.

6. Коммутативная полугруппа образных конструкций

Рассмотрим модель формальной теории Th как коммутативную полугруппу образных конструкций. При лингвистической интерпретации модели будем считать, что функциональные символы обозначают следующие связи между двумя ЯО [16]: $\setminus$ – связь «главный-подчиненный», $\times$ – связь типа «подлежащее-сказуемое». Под термом будем понимать образную конструкцию простого предложения, а под формулой теории – образный аналог логического ЕЯ выражения. Буквами $x_1, x_2, ..., x_n$ будем обозначать отдельные ЯО из множества $I = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$, буквами t_1, t_2, t_3 – термы в АНФ, $A, B, ..., X$ – формулы, Y – неизвестное подлежащее (объект действия), Z – неизвестное сказуемое (метод). Элементарный терм в АНФ $< AHФ\omega > \Big| < AHФ? >$ будем называть ассоциативной парою образов, где $\Big|$ – обозначение оператора ИЛИ в нотации Бекуса-Наура. Термы или образные конструкции создаются из ЕЯ предложений на основе такого правила 1: предложения из k слов преобразовываются в строки из $2 \cdot k$ символов, где каждому i-му слову предложения соответствует ЯО $x_i \in Al$, а после него записывается $j \in Con$ как указатель на другой ЯО x_j этого предложения, который является главным к подчиненному образу x_i. Если в предложении встречаются однородные члены, то возможны случаи $(x_1 \& x_2) j \to x_j \setminus x_1 \oplus x_j \setminus x_2$ или

$(x_1 \& x_2) j \oplus < АНФтерм > \oplus x_j \setminus x_1 \to$

$x_j \setminus x_1 \oplus x_j \setminus x_2 \oplus < АНФтерм > \oplus x_1 \setminus x_j \oplus x_2 \setminus x_j$.

Ограничения предложенной модели:

- естественно-языковые предложения обязательно содержат и подлежащее и сказуемое, в противном случае их искусственно вводят с помощью символов Y и/или Z;

- правило 1 применяется только к значимым словам предложения, для которых установлено соответствие с языковыми образами, а разделительные знаки, предлоги и служебные слова не учитываются.

В рамках модели доказанные теоремы формальной теории Th получают следующую лингвистическую интерпретацию:

Любой терм, соответствующий ЕЯ предложению и созданный на основе правила 1, можно представить как терм в АНФ: $< Терм > \to < АНФтерм >$.

Если в ЕЯ предложении, представленном в виде терма в АНФ $< АНФтерм >$ считать любую ассоциативную пару $< АНФ? > = x_i \setminus x_j$ вопросительным местоимением, связывающим ЯО x_i и x_j, то все непосредственно зависимые от этой пары элементарные термы в АНФ составят ответ $< АНФa >$ на данный вопрос к ЯО x_j, а все другие элементарные термы из $< АНФтерм >$ – соответствующее вопросительное предложение $< АНФq >$. Таким образом:

$< АНФтерм > \to < АНФq > \oplus < АНФ? > \oplus < АНФa >$.

Ответ $< АНФa_1^j >$ на вопрос $< АНФ? > = x_i \setminus x_j$ к ЯО x_j по одному предложению $< АНФтерм_1 >$ можно дополнить частью другого предложения $< АНФтерм_2 >$ в виде $< АНФa_2^j >$ при условии существования $< АНФ\omega > = x_j \setminus x_k$, где $k \in Con$ в составе $< АНФтерм_2 >$.

Для удобства применения модели формальной теории Th в лингвистических приложениях введем правило 2:

$< АНФтерм > ::= < \underline{АНФ?} > < tQ > ? < tA >$, где

$< \underline{АНФ?} >$ – вопросительное местоимение, соответствующее паре $< АНФ? >$;

$< tQ > ::= (x_i \,|< АНФq > = \varnothing) \;\big|\; (x_i x_l \ldots x_m x_k \,|< АНФq > = x_i \setminus x_l \oplus \ldots \oplus x_m \setminus x_k)$;

$< tA > ::= (x_j \,|< АНФa > = \varnothing) \;\big|\; (x_j x_l \ldots x_m x_k \,|< АНФa > = x_j \setminus x_l \oplus \ldots \oplus x_m \setminus x_k)$;

? – дополнительный знак, обозначающий окончание вопросительной части $< АНФтерм >$.

Полученные для $< tQ >$ и $< tA >$ строки символов $x_i x_l \ldots x_m x_k$ переписываются путем изъятия слева направо ранее встречавшихся символов. Формально для второго символа $x_1 x_2 \to ([x_2 = x_1] x_1, x_1 x_2)$ и т.д., а для к-го символа:

$x_1 x_2 \ldots x_k \to ([x_k = x_1 \,|\, x_k = x_2 \,|\, \ldots \,|\, x_k = x_{k-1}] x_1 x_2 \ldots x_{k-1}, x_1 x_2 \ldots x_k)$.

Аналогично, с целью удобного восприятия сложного ответа на вопрос в соответствии Теоремой 3 и с учетом правила 2, введем правило 3:

$$< АНФтерм >::=< \underline{АНФ_1^j} ? >< tQ_1^j > ? < tA_1^j > THAT < tA_2^j >,$$

где, в отличии от правила 2, строка дополнительной части ответа не содержит ЯО x_j – $< tA_2^j >::= (x_l ... x_m x_k \,|< АНФа >= x_j \setminus x_l \oplus ... \oplus x_m \setminus x_k)$.

7. Выводы

Благодаря использованию коммутативной полугруппы образных конструкций как модели формальной теории *Th* к ЕЯ предложениям достигнута поддержка ограниченного понятием языкового образа типа диалога для вопросов к отдельным членам предложения.

Отметим, что в представленном варианте формальной теории *Th* не использовано понятие силы связи между ЯО, которое несложно определить, в первом приближении, даже статистически. С помощью теоремы 3 и накопления силы связей между ЯО в пределах корпуса текстов открывается возможность поддержки диалогов типа «магистр Йода» и «дельфийский оракул» [6].

Литература

1. Turing A. Computing Machinery and Intelligence / A. Turing // Mind. – 1950. – Vol. LIX, N. 236. – P. 433-460.
2. Galitsky, Boris (2003). Natural Language Question Answering System: Technique of Semantic Headers. International Series on Advanced Intelligence. – Volume 2. – Australia: Advanced Knowledge International.
3. Бисикало О.В. Ассоциативный поиск для задач обучения на основе электронного тезауруса образов / О.В. Бисикало // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 2. – С. 28–33.
4. Бісікало О.В. Формалізація понять мовного образу та образного сенсу природно-мовних конструкцій / О.В. Бісікало // Математичні машини і системи. – 2012. – № 2. – С. 70–73.
5. Крылов С. А. Некоторые уточнения к определениям понятий словоформы и лексемы / С. А. Крылов // Семиотика и информатика. – 1982. – Вып. 19. – С. 118-136.
6. Бісікало О.В. Формальні методи образного аналізу та синтезу природно-мовних конструкцій : монографія / О. В. Бісікало. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 316 с. – ISBN 978-966-641-528-1.
7. Соснин П. И. Вопросно-ответное программирование человеко-компьютерной деятельности / П. И. Соснин. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 240 с.
8. Чмир, Ігор Олексійович. Моделювання та синтез діалогових агентів в інтелектуальних системах : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.13.23 / Ігор Олексійович Чмир . – Київ : Б.в., 2008 . – 33 с.
9. Burger, J., Cardie, C., Chaudhri, V., Gaizauskas, R., Harabagiu, S., Israel, D., Jacquemin, C., Lin, C-Y., Maiorano, S., Miller, G., Moldovan, D., Ogden, B., Prager, J., Riloff, E., Singhal, A., Shrihari, R., Strzalkowski, T., Voorhees, E., Weishedel, R. Issues, Tasks and Program Structures to Roadmap Research in Question Answering (QA).

10. Grillet P. A. Commutative Semigroups / P. A. Grillet // Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. - 2001. - 440 pages.

11. Горюшкин А. П. Элементы абстрактной и компьютерной алгебры : учебное пособие / А. П. Горюшкин, В. А. Горюшкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Петропавловск-Камчатский : КамГУ им. Витуса Беринга, 2011. – 518 с.

12. Clifford A. H., Preston G. B. The Algebraic Theory of Semigroups / A. H. Clifford, G. B. Preston // American Mathematical Soc. – 1967. – 352 pages.

13. Grillet P. A. Semigroups: An Introduction to the Structure Theory / Pierre A. Grillet // CRC Press. – 1995. – 408 pages.

14. Rosenfeld Vladimir. Using Semigroups in Modeling of Genomic Sequences / Vladimir Rosenfeld // MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry. – 2006. – Vol. 56. – Pp. 281-290.

15. Столл Р. Множества. Логика. Аксиоматические теории / Столл Р.; пер с англ. – М.: Просвещение, 1968. – 231 с.

16. Bisikalo O. Formalization of semantic network of image constructions in electronic content [Електронний ресурс] / O. Bisikalo, I. Kravchuk // Cornell University Library (Computer Science, Computation and Language), arXiv: 1201.1192v1. – January 2012. – 4 p. – Режим доступу: http://arxiv.org/abs/1201.1192v1.

References

1. Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind, 59,* 433-460.

2. Galitsky B. (2003). *Natural Language Question Answering System: Technique of Semantic Headers. International Series on Advanced Intelligence* (Vol. 2). Australia: Advanced Knowledge International.

3. Bisikalo O. V. (2009). Assotsiativnyy poisk dlya zadach obucheniya na osnove elektronnogo tezaurusa obrazov [Associative search for training purposes on the basis of electronic thesaurus images]. *Upravlyayushchiye sistemy i mashiny* [Control systems and machines], *2,* 28–33.

4. Bisikalo O. V. (2012). Formalizatsiya ponyat′ movnoho obrazu ta obraznoho sensu pryrodno-movnykh konstruktsiy [The formalization of the concepts of language image and image sense of the natural language constructs]. *Matematychni mashyny i systemy* [Mathematical Machines and Systems], *2,* 70–73.

5. Krylov S. A. (1982). Nekotoryye utochneniya k opredeleniyam ponyatiy slovoformy i leksemy. [Some refinements to the definition of word forms and tokens.]. *Semiotika i informatika* [Semiotics and Informatics] (Vol. 19), – 118-136.

6. Bisikalo O. V. (2013). *Formal'ni metody obraznoho analizu ta syntezu pryrodno-movnykh konstruktsiy* [Formal methods of image analysis and synthesis of natural-language constructions]. Vinnitsya: VNTU.

7. Sosnin P. I. (2010). *Voprosno-otvetnoye programmirovaniye cheloveko-komp'yuternoy deyatel'nosti* [Question-response programming of human-computer activities]. Ulyanovsk: UlGTU.

8. Chmyr, I. O. (2008). *Modelyuvannya ta syntez dialohovykh ahentiv v intelektual'nykh* systemakh [Modeling and synthesis of interactive agents in intelligent systems]. Doctoral dissertation, Kyiv, 05.13.23.

9. Burger, J., Cardie, C., Chaudhri, V., Gaizauskas, R., Harabagiu, S., Israel, D., et al. (2001). *Issues, Tasks and Program Structures to Roadmap Research in Question & Answering (Q&A) ()*. NIST .

10. Grillet P. A. (2001). *Commutative Semigroups*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

11. Goryushkin A. P., Goryushkin V. A. (2011). *Elementy abstraktnoy i komp'yuternoy algebry* [Elements of abstract and computer algebra]. Petropavlovsk-Kamchatsky: КamGU im. Vitusa Beringa.

12. Clifford A. H., Preston G. B. (1967). *The Algebraic Theory of Semigroups*. American Mathematical Soc.

13. Grillet P. A. (1995). *Semigroups: An Introduction to the Structure Theory*. New York: Marcel Dekker.

14. Rosenfeld V. (2006). Using Semigroups in Modeling of Genomic Sequences. *MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry* (Vol. 56), 281-290.

15. Stoll R. (1968). *Mnozhestva. Logika. Aksiomaticheskiye teorii* [Sets. Logic. Axiomatic theories.]. Moscow: Prosveshcheniye.

16. Bisikalo O. Kravchuk I. (2012). Formalization of semantic network of image constructions in electronic content. *Cornell University Library (Computer Science, Computation and Language),* arXiv: 1201.1192v1. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1201.1192v1.

Работа посвящена вопросам создания математического аппарата для поддержки диалога с пользователем на основе обобщения информации каждого предложения текста формальным понятием языкового образа. Актуальность проблематики исследования связана с обеспечением пошагового нахождения требуемой специализированной информации при обучении и повышении квалификации современных инженеров в рамках вопрос-ответных систем.

Предполагая известными синтаксические связи между всеми значимыми словами каждого предложения текста и соответствующие этим словам языковые образы, предложена формальная теория первого порядка. В состав теории введен конечный алфавит, процедуры построения термов как строк символов и формул как допустимых выражений формальной теории Th. *Из множества формул выделены схемы аксиом – 3 исчисления высказываний, 2 исчисления предикатов первого порядка, а также собственные аксиомы* Th – 6 *коммутативной полугруппы и 4 прикладные аксиомы (продукции) теории. Введено понятие терма в ассоциативной нормальной форме (АНФ). Сформулированы и доказаны 3 теоремы, позволяющие преобразовать любой терм в АНФ-терм и любой АНФ-терм в вопрос-ответную конструкцию термов, а также представить АНФ-терм ответной конструкции в виде составляющих (поддеревьев) из разных предложений (деревьев).*

Предложена модель формальной теории Th как коммутативная полугруппа образных конструкций, рассмотрены лингвистическая интерпретация и ограничения модели. Для удобства применения модели формальной теории Th в лингвистических приложениях введено 3 правила. Результаты исследования позволяют на формальном уровне обеспечить базовые функции поддержки ограниченного понятием языкового образа типа диалога.

Бисикало Олег Владимирович
Доктор технических наук, доцент
Кафедра автоматики и информационно-измерительной техники
Винницкий национальный технический университет
Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021
Контактный тел.: 067-580-04-19
E-mail: obisikalo@gmail.com

Кравчук Ирина Анатольевна
Аспирант
Кафедра автоматики и информационно-измерительной техники
Винницкий национальный технический университет
Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021
Контактный тел.: 097-805-93-41
E-mail: irina.kravchuk.2010@gmail.com

Кириленко Анна Александровна
Аспирант
Кафедра автоматики и информационно-измерительной техники
Винницкий национальный технический университет
Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Украина, 21021
Контактный тел.: 096-920-51-75
E-mail: anyakurul1@rambler.ru

Бісікало Олег Володимирович
Доктор технічних наук, доцент
Кафедра автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки
Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, г. Вінниця, Україна, 21021
Контактний тел.: 067-580-04-19
E-mail: obisikalo@gmail.com

Кравчук Ірина Анатоліївна
Аспірант
Кафедра автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки
Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, г. Вінниця, Україна, 21021

Контактний тел.: 097-805-93-41
E-mail: irina.kravchuk.2010@gmail.com

Кириленко Ганна Олександрівна
Аспірант
Кафедра автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки
Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, г. Вінниця, Україна, 21021
Контактний тел.: 096-920-51-75
E-mail: anyakurul1@rambler.ru

Bisikalo Oleg Volodymyrovych
Doctor of Sciences, associate professors
Department of Automation and Information Measuring Equipment
Vinnytsia National Technical University
95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 2102
Phone: 067-580-04-19
E-mail: obisikalo@gmail.com

Kravchuk Iryna Anatoliivna
Postgraduate student
Department of Automation and Information Measuring Equipment
Vinnytsia National Technical University
95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 2102
Phone: 097-805-93-41
E-mail: irina.kravchuk.2010@gmail.com

Kyrylenko Hanna Oleksandrivna
Postgraduate student
Department of Automation and Information Measuring Equipment
Vinnytsia National Technical University
95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 2102
Phone: 096-920-51-75
E-mail: anyakurul1@rambler.ru