



УДК 623.1/7
ГРНТИ 78.25.35

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕДИКАТНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ДИАЛОГОВОГО РЕЖИМА РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ НА ЕСТЕСТВЕННО-ПОДОБНОМ ЯЗЫКЕ

*А.В. ЗЮЗИН, доктор технических наук, профессор
Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны (г. Ярославль)
П.А. МОРОЗОВ, кандидат технических наук, доцент
Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны (г. Ярославль)
Д.В. МИТРОФАНОВ, кандидат педагогических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье обосновано применение естественно-подобного языка в диалоговом режиме решения автоматизированных задач управления с целью сокращения рабочего времени боевого расчета органа управления. Для организации такого вида взаимодействия предложен подход к формализации элементов диалогового режима на основе формирования предикатной модели, в которой с помощью логики предикатов первого порядка записаны условия для определения данных в запросно-ответных элементах. Разработаны правила построения предложений на основе формальной контекстно-свободной грамматики, в форме записи Бэкуса-Наура, которая определяет не только синтаксис, но и семантику языка взаимодействия. Совокупность описанных синтаксических и семантических правил позволяет автоматически выполнять грамматический разбор элементов диалогового режима решения автоматизированных задач управления.

Ключевые слова: оперативность управления, автоматизированное рабочее место, автоматизированные задачи управления, естественно-подобный язык, предикатная модель, язык взаимодействия.

DIALOG MODE ELEMENTS PREDICATE MODEL FORMING METHOD FOR SOLVING AUTOMATED CONTROL TASKS IN A NATURAL-LIKE LANGUAGE

*A.V. ZYUZIN, Doctor of Technical sciences, Professor
Yaroslavl Higher Military School of Air Defense (Yaroslavl)
P.A. MOROZOV, Candidate of Technical sciences, Associate Professor
Yaroslavl Higher Military School of Air Defense (Yaroslavl)
D.V. MITROFANOV, Candidate of Pedagogical sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

Application of a natural-like language in the interactive mode of solving automated control tasks is justified in the article in order to reduce the command unit combat calculation working time. An approach to the dialog mode elements formalization is proposed for the organization of this type of interaction based on the formation of a predicate model, in which conditions for determining data in request-response elements are written using the logic of first-order predicates. The rules for constructing sentences are developed on the basis of a formal context-free grammar, in the form of a Backus-Naur record, which determines not only the syntax, but also the semantics of the interaction language. The set of the described syntactic and semantic rules allows to automatically perform grammatical analysis of the elements of the dialog mode for solving automated control tasks.

Keywords: efficiency of management, automated workplace, automated management tasks, natural-like language, predicate model, interaction language.



Введение. Проведенный анализ показывает, что в настоящее время процесс развития и совершенствования средств воздушно-космического нападения (СВКН) вероятного противника, способов ведения боевых действий не останавливается. Значительно возросли боевые возможности войск, изменился характер боевых действий, повысилась роль автоматизированных систем управления (АСУ) [1–3]. Наиболее существенным частным показателем эффективности АСУ, который в большей степени влияет на реализацию боевых возможностей войск (сил), является оперативность. Оперативность АСУ характеризует ее быстродействие, т.е. возможность системы реагировать на изменение обстановки. Количественно оперативность системы может быть оценена временными затратами боевого расчета органа управления (БРОУ) при решении задач.

Актуальность. Высокая динамика современного боя, широкий спектр применяемых сил и средств поражения, а также быстро меняющаяся обстановка обуславливают необходимость сокращения рабочего времени БР ОУ [4, 5]. Основными направлениями сокращения рабочего времени БР ОУ могут выступить улучшение элементной базы комплекса средств автоматизации (КСА) с целью повышения его производительности, повышение эффективности подготовки боевого расчета органа управления на программно-технических комплексах (тренажерах), развитие современных средств человеко-машинного взаимодействия с вычислительной техникой. Однако, данные направления имеют ряд ограничений и недостатков.

Так, например, улучшение элементной базы КСА приведет к незначительному сокращению времени сбора, обработки информации, выдаче управляющих воздействий и, как следствие, незначительному сокращению рабочего времени БРОУ наряду с большими финансовыми затратами.

Повышение эффективности подготовки БРОУ также не приведет к значительному сокращению его рабочего времени, так как оно всегда будет ограничено временем взаимодействия оператора с интерфейсом (меню) автоматизированного рабочего места (АРМ) КСА.

Развитие современных средств человеко-машинного взаимодействия с вычислительной техникой, например, интеллектуальный мультимодальный интерфейс, средства интеллектуальной визуализации данных с элементами инфографики [6], средства дополнительной и виртуальной реальности, позволяющие в реальном масштабе времени совмещать получаемое изображение объективного мира с виртуальными объектами является очень финансово затратным направлением. Кроме этого, сложность реализации многомодальных интерфейсов в условиях боевой работы командных пунктов (КП), оснащенных КСА, приводит к полному отказу от применения подобных технологий еще на стадии формирования технического задания, где зачастую ограничиваются лишь требованиями действующих нормативно-технических документов по эргономической и технической эстетике организации рабочего места оператора [7–9].

Наиболее предпочтительным направлением сокращения рабочего времени БРОУ выступает использование естественно-подобного языка при решении автоматизированных задач управления (АЗУ).

Для реализации диалогового режима решения АЗУ на естественно-подобном языке разработана соответствующая методика, в основу которой положено формализованное описание структуры запросно-ответных элементов диалога и их представление на естественно-подобном языке.

Диалоговый режим решения АЗУ на естественно-подобном языке представляет из себя процесс обмена информационными сообщениями между лицами боевого расчета (ЛБР) органа управления и АРМ КСА. Такие информационные сообщения предлагается назвать запросно-ответными элементами (ЗОЭ) диалога. В зависимости от распределения ролей между участниками диалога выделяют активного и пассивного участника [10]. Запросно-ответный элемент активного участника диалога называется запросом Z , а реакцией на него пассивного



участника – ответом O . Множество ЗОЭ на естественно-подобном языке в процессе решения АЗУ возможно представить в следующем виде:

$$W = Z \vee O, \quad (1)$$

где W – запросно-ответные элементы диалогового режима, Z – запрос, O – ответ.

Отметим, что в процессе диалога между ЛБР ОУ и АРМ КСА при решении АЗУ возможны случаи перехвата инициативы. Такие случаи возникают, как со стороны ЛБР ОУ, так и со стороны АРМ КСА. Так, например, решая АЗУ ЛБР ОУ формирует запрос, в котором он указывает множество данных. Однако, если какие-то данные пропущены или заданы неправильно, то система перехватывает инициативу, формируя запрос со своей стороны, тем самым иницируя поддиалог по их уточнению. В ходе этого поддиалога ЛБР ОУ также может перехватывать инициативу, уточняя данные, необходимые для ответа на запрос АРМ КСА. Описанная особенность взаимодействия обуславливает необходимость формализации структуры запросов и ответов как со стороны ЛБР ОУ, так и стороны АРМ КСА. Учитывая описанные особенности диалогового режима решения АЗУ на естественно-подобном языке множество элементов диалога из выражения (1) принимает следующий вид:

$$W = Z_{ЛБР} \vee Z_{АРМ} \vee O_{ЛБР}, \quad (2)$$

где $Z_{ЛБР}$ – множество запросов ЛБР ОУ, $Z_{АРМ}$ – множество запросов АРМ КСА, $O_{ЛБР}$ – множество ответов ЛБР ОУ.

Запросно-ответным элементом, иницирующим любой диалог между ЛБР ОУ и АРМ КСА, является запрос. В общем виде любой запрос соответствует общепринятой структуре [11]:

$$\text{Запрос} = \langle \text{Команда}, \text{Данные} \rangle. \quad (3)$$

В данной структуре поле «Команда» определяет цель, на выполнение которой направлен запрос. Целью запроса ЛБР ОУ является решение конкретной АЗУ, а АРМ КСА – уточнение данных недостающих для этого. Учитывая цели участников диалога, целесообразно в структуре запроса ЛБР $Z_{ЛБР}$ поле «Команда» представить в виде двухкомпонентного кортежа $K = \langle dr, nc \rangle$, $dr \in Dr$, $nc \in Nc$, где Dr – множество директив, а Nc – множество названий (имен) автоматизированных задач управления, являющихся их уникальными идентификаторами. В комплексе средств автоматизации данные множества определяются на основе анализа АЗУ решаемых ЛБР ОУ. Примером множества директив (команд) может являться $Dr = \{\langle \text{«Рассчитать»}, \langle \text{«Показать»}, \dots, \langle \text{«Определить»}\rangle\}$, а множеством имен АЗУ $Nc = \{\langle \text{«Зона обнаружения»}, \langle \text{«Рубеж выдачи информации»}, \dots, \langle \text{«Боевой порядок»}\rangle\}$. При формировании запроса со стороны АРМ КСА $Z_{АРМ}$ поле «Команда» представляется в виде множества требований системы на ввод недостающих данных для решения АЗУ. Например: «Введите», «Укажите», «Уточните» и т.д.

Перед тем, как перейти к формализации поля «Данные», необходимо подчеркнуть, что наиболее естественным с точки зрения ЛБР ОУ является представление данных в виде понятий и множества их свойств. Однако, в связи с тем, что в памяти вычислительных средств КСА понятия, как правило, выражаются в виде объектов, состоящих из атрибутов и их значений [12] в дальнейшем изложении будет использоваться терминология, определенная для вычислительных средств.



Как в запросе ЛБР ОУ $Z_{ЛБР}$, так и в запросе АРМ КСА $Z_{АРМ}$ поле «Данные» D задается множеством $D = \{\hat{d}_1, \hat{d}_2, \dots, \hat{d}_m\}$, где каждый элемент $\hat{d}_i \in D$ определяет множество значений атрибута объекта $\hat{d}_i = \{d_i^1, d_i^2, \dots, d_i^k\}$. Например, для объекта «крылатая ракета» значение его атрибута «высота» может быть задано множеством $\hat{d}_i = \{100 \text{ м.}, 200 \text{ м.}, 300 \text{ м.}\}$. Принимая во внимание, что данные представляются значениями атрибутов объектов, целесообразно определять их на основе условий $Y = \{y_1^{n_1}, y_2^{n_2}, \dots, y_m^{n_m}\}$, где $y_i^{n_i} \in Y$ – элементарное условие, с арностью n_i . Каждое элементарное условие является некоторой функцией задаваемой над множеством объектов отображения (далее – объектов) $\hat{O} = \{o_1, o_2, \dots, o_k\}$ предметной области и их атрибутами. В зависимости от количества объектов n над которыми задается условие, различают условия различной арности. Формально возможно задание условий арность которых равна мощности множества объектов определенных в предметной области $n = |O|$, однако такие условия сложны в интерпретации и приводят к увеличению времени формирования запроса, поэтому целесообразно ограничиться арностью условий $n \leq 3$. Учитывая данное ограничение любое i -е элементарное условие $y_i^{n_i} \in Y$ предлагается задавать непосредственно на основе атрибутов одного объекта $o_i \in \hat{O}$, либо опосредованно через атрибуты других объектов $o_j, o_l \in \hat{O}$, имеющих связи не только с объектом o_i , но и между собой.

Элементарное условие y_i^1 , определяющее множество значений атрибута объекта \hat{d}_i , задаваемое на основе атрибутов одного объекта, представляется в следующем виде:

$$\hat{d}_i = \{d_i | y_i^1(o_i)\}, \quad (4)$$

где \hat{d}_i – множество значений атрибута объекта, d_i – значение атрибута объекта, y_i^1 – i -е элементарное условие с арностью 1, o_i – i -й объект.

Когда элементарное условие y_i^2 задается опосредованно через атрибуты двух объектов: o_i и o_j , множество значений атрибута объекта \hat{d}_i определяется следующим выражением:

$$\hat{d}_i = \{d_i | \exists o_j y_i^2(o_i, o_j)\}, \quad (5)$$

где \hat{d}_i – множество значений атрибута объекта, d_i – атрибут объекта, o_i – i -й объект, o_j – j -й объект, y_i^2 – i -е элементарное условие с арностью 2.

В случае, когда элементарное условие задается опосредованно через атрибуты трех объектов o_i, o_j, o_l выражение 4 принимает вид:

$$\hat{d}_i = \{d_i | \exists o_j, o_l y_i^3(o_i, o_j, o_l)\}, \quad (6)$$

где \hat{d}_i – множество значений атрибута объекта, d_i – атрибут объекта, o_i – i -й объект, o_j – j -й объект, o_l – l -й объект, y_i^3 – i -е элементарное условие с арностью 3.

Формально атрибуты объектов, которые участвуют в определении элементарных условий, целесообразно записывать в форме отношений вида $\alpha R \beta$ или $R(\alpha, \beta)$. В этой записи α и β являются предметными понятиями естественного языка, а R определяет вид (название) отношения между объектами в этой модели. В такой форме записи эти отношения являются



логическими высказываниями, с областью определения «истина» и «ложь», а элементарные условия логическими формулами.

Таким образом, элементарные условия удобно выражать в виде суждений, используя форму высказываний об атрибутах объектов и отношениях между ними. Примерами таких высказываний, выражающими условия, определяющие номера воздушных объектов, могут быть: «воздушный объект № 5», «воздушный объект, сопровождаемый РЛС 55Ж6», «воздушный объект, сопровождаемый РЛС находящейся на дежурстве в 211 радиотехническом батальоне» и т.п. Поскольку элементы отношений могут быть предметными переменными, использование только логики высказываний может быть недостаточно для определения элементарных условий $y_i^1(o_i)$, $y_i^2(o_i, o_j)$ и $y_i^3(o_i, o_j, o_l)$. Поэтому при формировании условий на основе отношений целесообразно использовать предикатную форму записи, которая основывается на логике предикатов первого порядка. Использование языка предикатов позволяет создавать сложные высказывания, которые при формальной записи используют операции алгебры логики: конъюнкция, дизъюнкция, отрицание, а также кванторы существования и общности [13].

Предметные понятия, используемые в записи предикатных выражений, могут являться предметными переменными или предметными константами. В качестве предметных переменных выступают понятия естественного языка, а в качестве предметных констант – значения соответствующих слотов. При таком подходе все значения атрибутов объектов, определяемые на основе элементарных условий, целесообразно записывать в виде составных формул на основе операций алгебры логики и отношений R различной арности. Для записи таких формул в наиболее общем виде в качестве обозначения множества логических операций $\{\wedge, \vee, \neg\}$ введем знак «•».

Таким образом элементарное условие, задаваемое в предикатной форме на основе атрибутов одного объекта, можно представить в следующем виде:

$$y_i^1(o_i) = R_{11}(o_i) \bullet R_{12}(o_i) \bullet \dots \bullet R_{1m}(o_i), \quad (7)$$

где y_i^1 – i -е элементарное условие с арностью 1, R_{11}, R_{12}, R_{1m} – унарные отношения, отражающие значения атрибута объекта o_i .

В случае, когда элементарное условие определяется атрибутами двух объектов o_i и o_j , составная формула принимает вид:

$$y_i^2(o_i, o_j) = R_{11}(o_i) \bullet \dots \bullet R_{1m}(o_i) \bullet R_{21}(o_j) \bullet \dots \bullet R_{2m}(o_j) \bullet R_{31}(o_i, o_j) \bullet \dots \bullet R_{3m}(o_i, o_j), \quad (8)$$

где y_i^2 – i -е элементарное условие с арностью 2, o_i – i -й объект, o_j – j -й объект, $R_{11}, \dots, R_{1m}, R_{21}, \dots, R_{2m}$ – унарные отношения, определяющие атрибут объекта o_i или o_j , а R_{31}, \dots, R_{3m} – бинарные отношения между атрибутами объектов o_i и o_j .

Когда элементарное условие определяется атрибутами трех объектов: o_i, o_j, o_l составная формула принимает вид:

$$\begin{aligned} y_i^3(o_i, o_j, o_l) = & R_{11}(o_i) \bullet \dots \bullet R_{1m}(o_i) \bullet R_{21}(o_j) \bullet \dots \bullet R_{2m}(o_j) \bullet R_{31}(o_i) \bullet \dots \bullet \\ & R_{3m}(o_i) \bullet R_{41}(o_i, o_j) \bullet \dots \bullet R_{4m}(o_i, o_j) \bullet R_{51}(o_i, o_l) \bullet \dots \bullet \\ & \bullet R_{5m}(o_i, o_l) \bullet R_{61}(o_j, o_l) \bullet \dots \bullet R_{6m}(o_j, o_l), \end{aligned} \quad (9)$$



где y_i^3 – i -е элементарное условие с арностью 3, o_i – i -й объект, o_j – j -й объект, o_l – l -й объект, $R_{11}, \dots, R_{1m}, R_{21}, \dots, R_{2m}, R_{31}, \dots, R_{3m}$ – унарные отношения, определяющие атрибут объекта o_i или o_j , а $R_{41}, \dots, R_{4m}, R_{51}, \dots, R_{5m}, R_{61}, \dots, R_{6m}$ – бинарные отношения между объектами o_i и o_j .

Также значения атрибутов объектов \hat{d}_i , при использовании исчисления предикатов возможно выразить с использованием кванторов.

Так, например, множество значений атрибута объекта \hat{d}_i , задаваемое элементарным условием из выражения (4), может иметь вид:

$$\forall o_i y_i^1(o_i), \quad (10)$$

где y_i^1 – i -е элементарное условие с арностью 1, o_i – i -й объект.

Этот предикат определяет множество значений атрибута объекта \hat{d}_i для которых выполняется условие $y_i^1(o_i)$. Аналогично возможно представить предикаты, определяющие множества значений атрибутов объектов для элементарных условий $y_i^2(o_i, o_j)$ и $y_i^3(o_i, o_j, o_l)$.

Представив в таком виде все элементарные условия, определяющие множество значений атрибутов объектов. Условия, определяющие поле «Данное», выражаются в виде дизъюнкции элементарных условий:

$$Y = y_1 \vee y_2 \vee \dots \vee y_m, \quad (11)$$

где Y – множество элементарных условий, $y_1 \dots y_m$ – элементарные условия.

Представленная структура условия позволяет полностью формализовать запрос, формируемый ЛБР ОУ. Однако, в виду особенностей ведения диалога между ЛБР ОУ и АРМ КСА, такая структура в полной мере не применима к условиям, формируемым АРМ КСА. Учитывая цель запроса АРМ КСА, её условия должны определять данные, недостающие для решения АЗУ. Такие данные также представляются в виде значений атрибута объекта. При этом, если недостающих данных более чем единица, АРМ КСА формирует запрос на получение каждого из них в отдельности. Хотя естественно-подобный язык и имеет возможность выражать условия для получения значения атрибута объекта опосредованно, через другие объекты, при формировании запросов со стороны АРМ КСА, это приводит к увеличению времени запроса и усложнению его восприятия ЛБР ОУ. Учитывая эту особенность, целесообразно условие АРМ КСА представлять непосредственно атрибутом одного объекта. Формально условия, формируемые АРМ КСА, можно записать в следующем виде:

$$Y_{АРМ} = R(o_i), \quad (12)$$

где $Y_{АРМ}$ – условие, формируемое АРМ КСА, $R(o_i)$ – унарное отношение, определяющее атрибут объекта o_i .

Таким образом, по своей структуре запрос АРМ КСА имеет более простую структуру в сравнении с запросом ЛБР ОУ и не требует выражения своего условия через отношения R с другими объектами.

При такой формализации структуры запроса АРМ КСА, ответ ЛБР определяется в следующем виде:



$$O_{\text{ЛБР}} = \langle \text{Данные} \rangle, \quad (13)$$

где $O_{\text{ЛБР}}$ – ответ лица боевого расчета, где поле $\langle \text{Данные} \rangle$ определяет значение атрибута объекта, являющегося целью запроса АРМ КСА.

Значение атрибута может быть выражено как непосредственно через атрибуты одного объекта, так и опосредованно через атрибуты связанных с ним других объектов. При этом все рассуждения, приведенные выше о представлении элементарных условий запроса ЛБР ОУ в виде логических формул, совершенно справедливы и для представления данных в ответе ЛБР ОУ. Поэтому поле $\langle \text{Данные} \rangle$ в ответе ЛБР ОУ, также предлагается определять в виде условий, записанных в форме отношений R .

Обобщая сказанное, можно сделать вывод о том, что формируется предикатная модель элементов диалогового режима решения автоматизированных задач управления, в которой с помощью формул логики предикатов предлагается записывать условия, а запрос и ответ представлять в виде предложений, которые используют предикатные формулы и понятия естественного языка.

При этом следует отметить, что использование понятий русского языка ограничивается, с одной стороны, предикатной формой записи, а, с другой стороны, требованием их согласования с позиций грамматических правил естественного языка.

При таком подходе к определению структуры ЗОЭ поле $\langle \text{Данные} \rangle$ предлагается формировать на основе языка логики предикатов. Это позволяет в рамках общей формализованной структуры ЗОЭ, с одной стороны, логически связать понятия и отношения предметной области, а, с другой стороны, предоставляет возможность использовать синтаксические структуры естественно-подобного языка.

Предикатная модель элементов диалогового режима решения автоматизированных задач управления основывается на использовании двух языковых элементов – *термов* и *предикатов* [13]. При этом термы соответствуют понятиям и объектам, которые определяются используемой моделью представления знаний о предметной области. В качестве такой модели предлагается использовать продукционно-фреймовую модель воздушной обстановки (ПФМ ВО), структура которой подробно описана в [14].

При использовании продукционно-фреймовой модели, для представления термов целесообразно использовать имена фреймов и названия слотов их образующих, а также все возможные значения этих слотов.

С точки зрения формирования ЗОЭ диалога ЛБР ОУ и АРМ КСА, продукционно-фреймовая модель позволяет определить только используемые понятия. Для формирования множества предикатов в структуре ЗОЭ необходимо проанализировать отношения между предметными переменными, ассоциированными с понятиями, определенными в ПФМ ВО, и представить их в виде терминов естественного языка, которые используются для описания этих отношений. Например, анализ ПФМ ВО показывает, что понятие «воздушный объект», как предикатная переменная, участвует, по крайней мере, в пяти базовых отношениях, которые могут быть определены через языковые термины естественного языка: «имеет», «входит в состав», «является», «находится», «является по государственной принадлежности».

Это позволяет зафиксировать все базовые отношения $R(\alpha, \beta)$, связывающие предикатную переменную α = «воздушный объект» с другими предикатными переменными β , и представить их в виде фрагмента семантической сети (рисунок 1).

Аналогичный анализ, выполненный для всех предикатных переменных, позволяет сформировать полный граф семантической сети и определить множество языковых понятий, ассоциированных с предикатами R в структуре высказываний ЛБР.

Исходя из вышеизложенного, использование названных элементов языка позволяет, применяя формализм языка логики предикатов, создать основу представления ЗОЭ диалога ЛБР



и АРМ КСА в виде совокупности простых предложений естественного языка, содержащих термины и понятия предметной области.

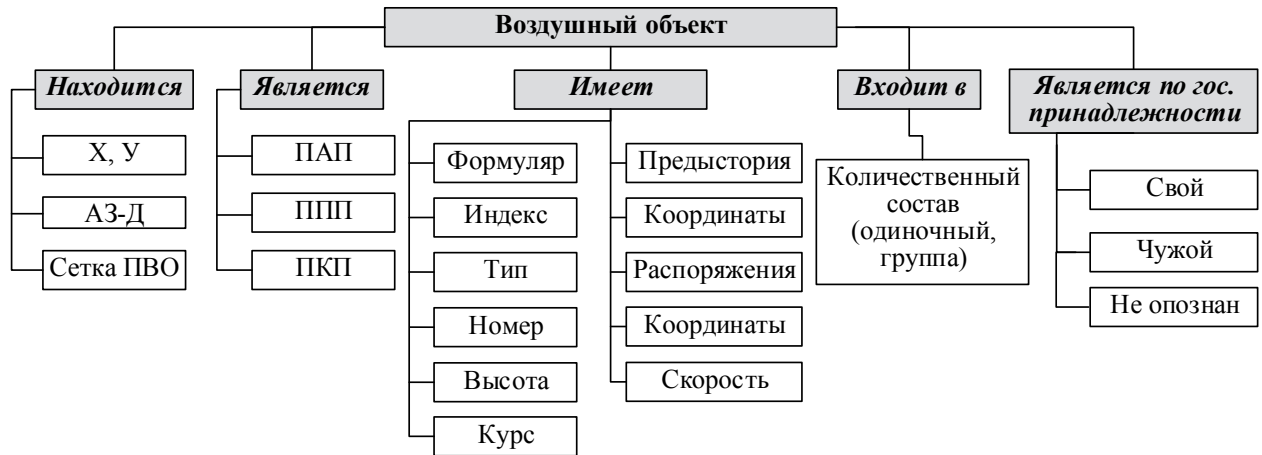


Рисунок 1 – Базовые отношения, связывающие предикатную переменную «воздушный объект» с другими предикатными переменными

Такие простые предложения имеют базовую предикативную форму в естественном языке вида «подлежащее-сказуемое-дополнение», в которой подлежащее соответствует атрибуту объекта, сказуемое – предикату, а дополнение – его значению.

В соответствии с правилами формирования элементарных условий вида (8) и (9) каждое последующее предложение направлено на уточнение свойств термов, используемых в предыдущих предложениях. Из чего можно заключить, что объединение в структуре ЗОЭ нескольких простых предложений в одно сложное предложение можно осуществлять с использованием наречий. В частности, предлагается использовать наречие «причем». Представление запроса ЛБР ОУ в виде конъюнкции его элементарных условий предлагается осуществить путем применения союза «и».

Использование перечисленных правил и приемов формирования предложений позволяет определить структуру поля «Данные», которая в целом будет соответствовать грамматическим требованиям построения предложений на естественно-подобном языке. Однако, описанные правила не позволяют производить согласование слов по падежам, а также использовать формы множественного/единственного числа в структуре предложения.

Все имена и слоты фреймов в ПФМ, образующие множество термов, представляются в именительном падеже, единственном числе. Однако, если слова, образующие ЗОЭ диалога, будут представлены не в именительном падеже или в форме множественного числа, АРМ КСА будет не в состоянии их идентифицировать, что приведет к возникновению ошибки. Устранение ошибок такого рода возможно путем описания для каждого понятия определенного в предметной области всех его возможных словоформ и приписывания ему комплекса морфологической информации (КМИ): падежа, рода, числа и т.д., т.е. описания морфологии.

В современной науке существует два основных метода описания морфологии языка: декларативный и процедурный. Процедурный метод основан на том, что для каждого слова хранится его основа и множество правил, описывающих образование возможных словоформ. В декларативном методе для каждого слова в виде таблицы хранятся все его возможные словоформы с приписанной им морфологической информацией. Количественно у существительных выделяется двенадцать словоформ, у прилагательных тридцать шесть, а у глаголов до сотни. Такое представление для каждого слова называется парадигмой. При таком подходе применение декларативного метода сводится к поиску словоформы в словаре и сопоставлению ей соответствующего КМИ. Анализ скорости работы двух описанных выше



методов показал, что для узких предметных областей, к которым относится КСА военного назначения, декларативный подход работает намного быстрее, чем процедурный и является наиболее предпочтительным.

При декларативном подходе к представлению морфологии необходимо произвести описание парадигмы для всех термов, определенных в ПФМ. Такое описание для русского языка возможно выполнить на основе словаря [11], включающего на данный момент 161 тысячу слов и их возможных словоформ. Пример парадигмы для слова «высота» приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример парадигмы для слова «высота»

Падежи	Единственное число	Множественное число
Именительный	высота	высоты
Родительный	высоты	высот
Дательный	высоте	высотам
Винительный	высоту	высоты
Творительный	высотой	высотами
Предложный	высоте	высотах

Описанные выше правила определяют общую структуру ЗОЭ диалога ЛБР и АРМ КСА в виде предложений на естественно-подобном языке, которые в работе предлагается назвать «языком диалога» (ЯзД).

Однако, описанные выше правила не позволяют учесть порядок и взаимосвязь слов в ЗОЭ диалога, используемые ЛБР и АРМ КСА при решении АЗУ. Данные особенности требуют разработки правил построения предложений на основе теории формальных грамматик [15].

Использование в ЗОЭ диалога ЛБР и АРМ КСА естественно-подобного языка, включающего понятия и термины предметной области (ПО), определяет необходимость описывать в правилах языка не только синтаксис, но также и множество смыслов с точки зрения предметной области, т.е. семантику языка.

Синтаксис языка диалога определяется грамматикой этого языка, которая в соответствии с теорией формальных грамматик [15] в общем виде представляется как совокупность четырех множеств и может быть записана как:

$$G = \langle VT, VN, P, B \rangle, \quad (14)$$

где G – грамматика языка, VT – терминальные символы, VN – нетерминальные символы, P – правила формирования предложений языка, B – начальный символ грамматики.

Множество терминальных символов VT формирует словарь языка, который включает термы и предикаты, и определяется на основе продукционно-фреймовой модели воздушной обстановки в соответствии с описанными выше правилами. При этом словарь языка дополняется вспомогательными словами, которые могут использоваться для определения цели ЗОЭ диалога и формирования языковых связей внутри предложения. Ниже при описании грамматики все терминальные символы заключаются в кавычки.

Нетерминальные символы определяют грамматические понятия в рамках синтаксиса предложения.

В множестве нетерминальных символов целесообразно выделить три группы понятий:

- в первую группу входят грамматические понятия, определяющие описание объектов предметной области и их атрибутов;
- вторую группу образуют понятия, описывающие условия ЗОЭ диалога между ЛБР и АРМ КСА;
- третья группа предназначена для выражения грамматических понятий через терминальные символы грамматики.



В качестве начального символа грамматики используется грамматическое понятие *ЗОЭ*.

Правила *P* формирования предложений языка диалога могут быть записаны с использованием расширенной формы записи грамматики Бэкуса-Наура (РБНФ). При использовании такой формы записи общую структуру предложений языка определяют следующие грамматические правила:

ЗОЭ = Запрос | Ответ;
 Запрос = Запрос_ЛБР | Запрос_АРМ;
 Ответ = {Объект_ПО} [Условие];
 Запрос_ЛБР = Команда_ЛБР {Объект_ПО} [Условие];
 Запрос_АРМ = Команда_АРМ {Объект_ПО};
 Команда_ЛБР = Директива, Имя_АЗУ;
 Директива = «Рассчитать» | «Показать» |...| «Определить»;
 Имя_АЗУ = «Зона обнаружения» | «Рубеж выдачи информации» |...| «Боевой порядок»;
 Команда_АРМ = «Введите» | «Укажите» | «Уточните»;
 Объект_ПО = {Имя_Объекта} [атрибут_объекта];
 Имя_Объекта = РЛС | ВО | рлр | ...| ртб;
 атрибут_объекта = Н | V | № |...| Курс;
 Условие = Подусловие [Условие];
 Подусловие = Подусловие1 | Подусловие2.

В грамматике *G* ключевым понятием первой группы является нетерминальный символ *Объект_ПО*.

В качестве ключевого понятия второй группы используется нетерминальный символ *Условие*. В эту группу также входят понятия, связанные с грамматическим описанием условий описания атрибутов объектов определенных в предметной области.

Нетерминальные символы второй группы, входящие в правило разбора *Условие*, связаны с грамматическим описанием условий выбора (*Подусловие1*, *Подусловие2*). Структура этих правил в форме РБНФ представлена ниже:

Подусловие1 = «который» ([«не»] Имя_Отношения
 (Объект_ПО) | «имеет» (атрибут_объекта)
 {(«и»|«или»)} [Имя_Отношения] (Объект_ПО));
Подусловие2 = «причем» Объект_ПО ([«не»] Имя_Отношения
 (Объект_ПО) | «имеет» (атрибут_объекта)
 {(«и»|«или»)} [Имя_Отношения] (Объект_ПО)).

В этой структуре ключевым элементом, определяющим предложения языка диалога, служит грамматическое понятие *Имя_Отношения*, которое входит в третью группу понятий:

Имя_Отношения = {«входит в», «находится», «является», «имеет», «содержит», ..., «выполняет»}.

Представленная таким образом грамматика является контекстно-свободной. Основным достоинством контекстно-свободных грамматик является низкая вычислительная сложность разбора предложений языка, характеризующаяся полиномиальной зависимостью от длины предложений. Правила разбора предложений языка в такой грамматике широко представлены в литературе [10, 11, 15].

Поскольку формальной основой языка диалога ЛБР и АРМ КСА являются предикаты вида $\alpha R\beta$, то при описании синтаксиса языка за счет применения в грамматических конструкциях предметных понятий учтена значительная часть предметных смыслов, определяющих предметную интерпретацию предикатов в соответствии с используемой моделью знаний, выполненной в виде ПФМ ВО. Например, предложение «номера радиолокационной станции (РЛС), которые сопровождают воздушные объекты, которые находятся на высоте менее 100 метров», по своей структуре полностью соответствует синтаксису и содержит понятный ЛБР ОУ предметный смысл.



Однако, контекстно-свободная грамматика языка не отражает наличие сложных контекстных зависимостей между используемыми в предложении понятиями предметной области, что может приводить к некоторому искажению смысла высказываний.

Поскольку семантика языка связана с предметной интерпретацией условий, представляемых в предикатной форме $\alpha R \beta$, то необходимо отметить два вида возможных контекстных зависимостей ω_1 и ω_2 , существенно влияющих на правильную передачу предметного смысла предложений.

Контекстная зависимость первого вида формально может быть записана в виде $R = \omega_1(\alpha)$. Это означает, что в предложении языка вид отношения R определяется объектом α , так что в зависимости от их предметного согласования в предложении синтаксически правильная конструкция высказывания может иметь как корректный, так и некорректный предметный смысл. Например, использование отношения $R = \text{«Сопровождает»}$ применительно к объекту $\alpha = \text{«РЛС»}$ позволяет сформировать предложение «РЛС сопровождает», которое имеет правильный предметный смысл. Семантическая правильность предложения объясняется тем, что соответствующее отношение учтено в ПФМ ВО. То же самое отношение, примененное к объекту $\alpha = \text{«Воздушный объект»}$, образует предложение «воздушный объект сопровождает» с некорректным смысловым значением, поскольку в ПФМ ВО для такого элемента отсутствует предметная интерпретация данного отношения.

Контекстную зависимость первого вида в теоретико-множественной форме можно представить в виде выражения:

$$W_1 : A \rightarrow R, \quad (15)$$

где W_1 – контекстная зависимость между понятиями предметной области первого вида, A – множество объектов, R – множество допустимых отношений между объектами.

То есть каждому объекту $\alpha \in A$ ставится в соответствие подмножество допустимых отношений $\omega_1(\alpha) \subseteq R$. Это соответствие фактически определяет перечень дополнительных правил предметной интерпретации, которые доопределяют семантику языка. Такое соответствие целесообразно структурировать в виде таблицы 2, в которой подмножество допустимых отношений для каждого объекта α определяется в соответствующих клетках таблицы.

Таблица 2 – Пример контекстной зависимости между понятиями предметной области первого вида

α	Воздушный объект	рлр	...	РЛС
$\omega_1(\alpha)$	находится, является, имеет, ..., входит в	находится, содержит, обеспечивает, имеет, ..., подчиняется	...	находится, сопровождает, принимает, выдает, ..., является

Контекстная зависимость второго вида формально может быть записана в виде:

$$\beta = \omega_2(R, \alpha), \quad (16)$$

где β, α – объекты, ω_2 – подмножество допустимых отношений множества R .

Это означает, что смысловое употребление объекта β при определении условий на языке диалога зависит как от объекта α , так и от вида отношения R в предикатах, причем полагается, что R и α семантически согласованы на основе зависимости $R = \omega_1(\alpha)$.



В рассматриваемом случае смысловое согласование употребляемых предметных понятий в предложении сложнее, нежели в случае контекстной зависимости первого вида, поскольку требуется учитывать более глубокие смысловые связи между объектами. При отсутствии такого согласования, как и в случае с контекстной зависимостью первого вида, синтаксически правильная конструкция высказывания может иметь некорректный предметный смысл.

Например, предложение «РЛС, сопровождавшая воздушный объект» семантически корректно связывает объект предметной области β = «воздушный объект» с объектом α = «РЛС» через отношение R = «сопровождает».

С другой стороны, синтаксически правильное предложение «воздушный объект, сопровождавший РЛС» является семантически некорректным, поскольку в этом предложении нарушена, определяемая ПФМ ВО, предметная интерпретация объекта β = «РЛС» с объектом α = «воздушный объект» через отношение R = «сопровождает».

Контекстную зависимость второго вида в теоретико-множественной форме можно представить в виде выражения:

$$W_2 : A \times R \rightarrow A, \quad (17)$$

где W_2 – контекстная зависимость между понятиями предметной области второго вида, A – множество объектов, R – множество отношений между объектами.

То есть каждой паре (α, R) , где $\alpha \in A, \beta \in R$, ставится в соответствие подмножество допустимых объектов $\omega_2(\alpha, R) \subseteq A$. Это соответствие расширяет перечень дополнительных правил предметной интерпретации, которые доопределяют семантику языка. Такое соответствие целесообразно структурировать в виде двумерной таблицы, в которой подмножество допустимых объектов β определяется в соответствующих клетках таблицы 3.

Таблица 3 – Пример контекстной зависимости предметных понятий предметной области второго вида

		$\beta = \omega_2(R, \alpha)$		
R	α			
	воздушный объект	РЛС	рлр	...
находится	карта	карта	карта	...
обеспечивает	-	-	пункт наведения, зрдн,
сопровождает	-	воздушный объект	-	...
входит в	-	рлр, ртбр, ...	ртбр, ртп,
...

Отдельно следует остановиться на контекстной зависимости второго вида, связанной с использованием отношения R = «имеет». Данное отношение отражает семантические зависимости между объектами предметной области и их атрибутами, как представлено выше на рисунке 1.

Семантические зависимости для отношения «имеет» приведены в таблице 4, в которой подмножество допустимых объектов β определяется в соответствующих клетках таблицы. Аналогично можно описывать и более сложные контекстные зависимости между элементами внутри предложения образующих высказывания. Правила, задаваемые таблицами 2, 3 и 4, необходимо использовать для проверки соответствия контекстных зависимостей первого и второго вида семантики предложений языка диалога. При этом, в первую очередь, по таблице 2 проверяется соответствие отношений $\omega_1(\alpha)$ объекта α в предложении для всех условий, в которых использована предикатная конструкция αR . Если используемый предикат $R = \omega_1(\alpha)$, то семантика предикатной конструкции αR в предложении считается правильной. В противном случае считается, что семантика языка нарушена и предложение семантически некорректно.



После проверки контекстных зависимостей первого вида, выполняется проверка на соответствие контекстных зависимостей второго вида семантике языка диалога по таблицам 3 и 4.

Таблица 4 – Семантические зависимости для отношения «имеет»

α	R	β
воздушный объект	имеет	номер, индекс, тип, азимут, дальность, высоту, скорость, курс, ..., ЭПР
РЛС	имеет	номер, тип антенны, высоту антенны, ..., длину волны
...
рлр	имеет	номер, зону отбора, зону ответственности, ..., радиолокационное поле

Выполнение соответствующих проверок семантических правил, задаваемых таблицей 2, целесообразно формализовать в форме продукций вида: если «объект» = «воздушный объект», то «отношение» = {«входит в», «находится», «является», «имеет», «является по гос. принадлежности»}.

Для таблиц 3 и 4 правила, задаваемые в форме продукций, имеют следующий вид: если {«объект» = «РЛС» и «отношение» = «сопровождает»}, то «объект» = {«воздушный объект»}.

В общем виде структура методики формирования предикатной модели элементов диалогового режима решения автоматизированных задач управления на естественно-подобном языке представлена на рисунке 2.

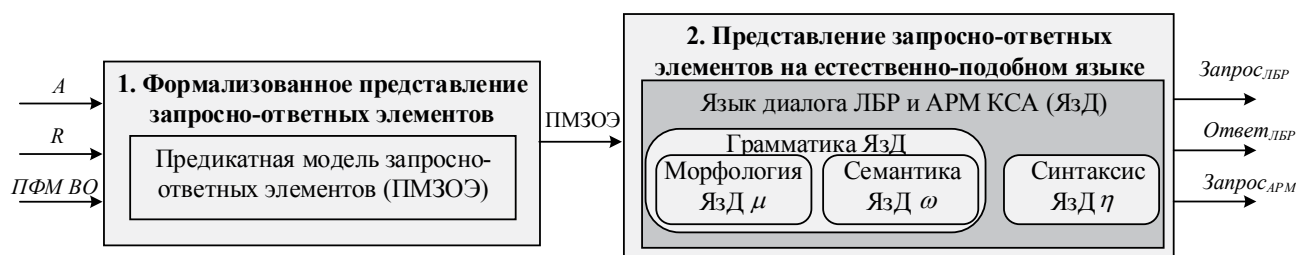


Рисунок 2 – Структура методики формирования предикатной модели элементов диалогового режима решения автоматизированных задач управления на естественно-подобном языке

Выводы. Анализ направлений сокращения рабочего времени боевого расчета органа управления показал, что наиболее предпочтительным является применение естественно-подобного языка при формировании оперативной информации о воздушной обстановке.

Для реализации диалогового режима решения АЗУ на естественно-подобном языке разработана соответствующая методика, в основу которой положено формализованное описание структуры запросно-ответных элементов диалога и их представление на естественно-подобном языке.

Формализованное описание структуры запросно-ответных элементов диалога определено на основе предикатной модели элементов диалогового режима решения автоматизированных задач управления, в которой с помощью формул логики предикатов записаны условия, а запрос и ответ представлен в виде предложений, которые используют предикатные формулы и понятия естественного языка.

Для выполнения грамматического разбора ЗОЭ диалога ЛБР и АРМ КСА при решении АЗУ определена совокупность морфологических, синтаксических и семантических правил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фененко А.В. Концепция «быстрого глобального удара» в контексте развития военной стратегии США // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 25: Международные отношения и мировая политика. 2016. № 4. С. 18–50.



2. Гиперзвуковое оружие и концепция Быстрого глобального удара США // EurAsia Daily [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eadaily.com/ru/news/2018/04/21/giperzvukovoe-oruzhie-i-koncepciya-bystrogo-globalnogo-udara-ssha> (дата обращения 05.07.2020).
3. Анализ состояния Воздушно-космических сил России. Перспективы развития / Бориско С. Н. и др. // Военная мысль. 2019. № 1. С. 25–37.
4. Федяев В.Н. Теоретические основы автоматизированного управления / В.Н. Федяев. Тверь: ВА ВКО, 2007. 201 с.
5. Сиников А.А. Основные положения науки управления / Тверь: ВА ПВО, 1998. 312 с.
6. Говоритель В.В. Развитие средств информационного обеспечения деятельности оператора автоматизированных и информационных систем военного назначения // Научно-методический сборник Международной военно-научной конференции. Тверь, ВА ВКО, 2017. 232 с.
7. ГОСТ 27817–88. Системы обработки информации. Машинная графика. Функциональное описание ядра графической системы. Москва: «Изд-во стандартов», 1989. 297 с.
8. ГОСТ Р 53393–2009. Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения. Москва: Стандартинформ, 2010. 16 с.
9. ГОСТ 2269–76 СЧМ. Рабочее место человека-оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. Москва: «Изд-во стандартов», 1990. 4 с.
10. Гаскаров Д.В. Интеллектуальные информационные системы: учеб. для вузов / Д.В. Гаскаров. Москва: Высшая школа, 2003. 431 с.
11. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. Москва: Финансы и статистика, Инфра-М, 2010. 432 с.
12. Гасанов Э.Э., Кудрявцев В.Б. Интеллектуальные системы. Теория хранения и поиска информации. Москва: Издательство Юрайт, 2019. 271 с.
13. Колмогоров А.Н., Драгалин А.Г. Математическая логика. Москва: КомКнига, 2006. 240 с.
14. Морозов П.А. Способ формализации концептуальной информационной модели рабочего места комплекса средств автоматизации военного назначения // Информационно-измерительные и управляющие системы. Москва: Изд-во «Радиотехника». 2020. № 3. С. 16–27.
15. М. Гросс, А. Латтен. Теория формальных грамматик. Москва: Мир, 1971. 296 с.

REFERENCES

1. Fenenko A.V. Konceptsiya «bystrogo global'nogo udara» v kontekste razvitiya voennoj strategii SShA // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 25: Mezhdunarodnye otnosheniya i mirovaya politika. 2016. № 4. pp. 18–50.
2. Giperzvukovoe oruzhie i koncepciya Bystrogo global'nogo udara SShA // EurAsia Daily [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://eadaily.com/ru/news/2018/04/21/giperzvukovoe-oruzhie-i-koncepciya-bystrogo-globalnogo-udara-ssha> (data obrascheniya 05.07.2020).
3. Analiz sostoyaniya Vozdushno-kosmicheskikh sil Rossii. Perspektivy razvitiya / Borisko S. N. i dr. // Voennaya mysl'. 2019. № 1. pp. 25–37.
4. Fedyaev V.N. Teoreticheskie osnovy avtomatizirovannogo upravleniya / V.N. Fedyaev. Tver': VA VKO, 2007. 201 p.
5. Sinikov A.A. Osnovnye polozheniya nauki upravleniya / Tver': VA PVO, 1998. 312 p.
6. Govoritel' V.V. Razvitie sredstv informacionnogo obespecheniya deyatelnosti operatora avtomatizirovannyh i informacionnyh sistem voennogo naznacheniya // Nauchno-metodicheskij sbornik Mezhdunarodnoj voenno-nauchnoj konferencii. Tver', VA VKO, 2017. 232 p.
7. GOST 27817–88. Sistemy obrabotki informacii. Mashinnaya grafika. Funkcional'noe opisanie yadra graficheskoy sistemy. Moskva: «Izd-vo standartov», 1989. 297 p.



8. GOST R 53393-2009. Integrirovannaya logisticheskaya podderzhka. Osnovnye polozheniya. Moskva: Standartinform, 2010. 16 p.
9. GOST 2269–76 SChM. Rabochee mesto cheloveka-operatora. Vzaimnoe raspolozhenie `elementov rabochego mesta. Obschie `ergonomicheskie trebovaniya. Moskva: «Izd-vo standartov», 1990. 4 p.
10. Gaskarov D.V. Intellektual'nye informacionnye sistemy: ucheb. dlya vuzov / D.V. Gaskarov. Moskva: Vysshaya shkola, 2003. 431 p.
11. Rybina G.V. Osnovy postroeniya intellektual'nyh sistem. Moskva.: Finansy i statistika, Infra-M, 2010. 432 p.
12. Gasanov `E.`E., Kudryavcev V.B. Intellektual'nye sistemy. Teoriya hraneniya i poiska informacii. Moskva: Izdatel'stvo Yurajt, 2019. 271 p.
13. Kolmogorov A.N., Dragalin A.G. Matematicheskaya logika. Moskva: KomKniga, 2006. 240 p.
14. Morozov P.A. Sposob formalizacii konceptual'noj informacionnoj modeli rabochego mesta kompleksa sredstv avtomatizacii voennogo naznacheniya // Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayuschie sistemy. Moskva: Izd-vo «Radiotekhnika». 2020. № 3. pp. 16–27.
15. M. Gross, A. Latten. Teoriya formal'nyh grammatik. Moskva: Mir, 1971. 296 p.

© Зюзин А.В., Морозов П.А., Митрофанов Д.В., 2021

Зюзин Алексей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны, Россия, 150000, г. Ярославль, Московский проспект, 28, aleksey.zuuzin@mail.ru.

Морозов Павел Андреевич, кандидат технических наук, доцент, докторант, Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны, Россия, 150000, г. Ярославль, Московский проспект, 28, mra24@mail.ru.

Митрофанов Дмитрий Викторович, заместитель начальника отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, mitrofanovd@mail.ru.