

КОНФИГУРИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПОСТРОЕННОГО ПО ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЕ

А.С. Бешта, А.В. Балахонцев, С.С. Худолий, О.В. Худая, А.А. Албу

Государственное высшее учебное заведение “Национальный горный университет”

пр. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 39600, Украина. E-mail:

В данной статье рассмотрены проблемы конфигурирования и разработки системы управления гибридного электрического транспортного средства построенного по параллельной схеме. Рассмотрены функциональная схема, а также схема привода гибридного автомобиля с механической связью приводных колес. Выявлена и обоснована необходимость введения не стандартных ограничений регуляторов системы управления. На основе проведенного исследования автором предлагается использовать представленную систему управления.

Ключевые слова: гибридное транспортное средство, система управления.

КОНФІГУРУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГІБРИДНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПОБУДОВАНОГО ЗА ПАРАЛЕЛЬНОЮ СХЕМОЮ

О.С. Бешта, О.В. Балахонцев, С.С. Худолий, О.В. Худа, А.А. Албу

Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”

пр. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 39600, Україна. E-mail:

В даній статті розглянуті проблеми конфігурування та розробки системи керування гібридного електричного засобу побудованого за паралельною схемою. Розглянуті функціональна схема, а також схема привода гібридного автомобіля з механічним зв'язком приводних колес. Виявлена та обґрунтована необхідність введення не стандартних обмежень регуляторів системи керування. На підставі проведеного дослідження автором пропонується використовувати представлену систему керування.

Ключові слова: гібридний транспортний засіб, система керування.

Эффективным решением вопросов экологии, снижения расхода топлива транспортного средства является разработка и применение в конструкциях автомобилей комбинированных энергетических установок (КЭУ). В состав КЭУ входят двигатель внутреннего сгорания (ДВС), электродвигатель (ЭД) и система управления (СУ).

Задачей системы управления является повышение эффективности работы привода гибридного транспортного средства (ГТС). Работы связанные с созданием и синтезом СУ направлены на разработку рациональных алгоритмов и схем управления КЭУ.

Цель работы – разработка системы управления гибридного электрического транспортного средства построенного по параллельной схеме.

Рассмотрим функциональную схему привода гибридного транспортного средства параллельной конфигурации. Функциональная схема привода изображена на рисунке 1. Кроме элементов силовой части привода схема содержит блоки систем управления [1].

В состав схемы привода входят блоки ДВС, ЭД, трансмиссии и коробки передач, СУ ЭД, СУ ДВС, СУ электропривода гибридного транспортного средства [1].

По составу основных компонентов функциональная схема параллельного привода аналогична соответствующей схеме последовательной структуры. Дополнительным элементом силовой цепи привода является соединительное устройство, объединяющее силовые потоки теплового (ДВС) и электродвигателя. [2]

СУ содержит два уровня блоков управления. На верхнем (высоком) уровне находится центральный блок управления и контроля автомобиля (СУ привода ГТС), функционирующий как командный блок, формирующий и посылающий управляющие сигналы блокам управления нижнего уровня - блокам управления тепловым двигателем (СУ ДВС), электродвигателем (СУ ЭД). Формирование центральным блоком управляющих сигналов производится

на основании команд оператора и сигналов обратных связей от блоков нижнего уровня. [1]

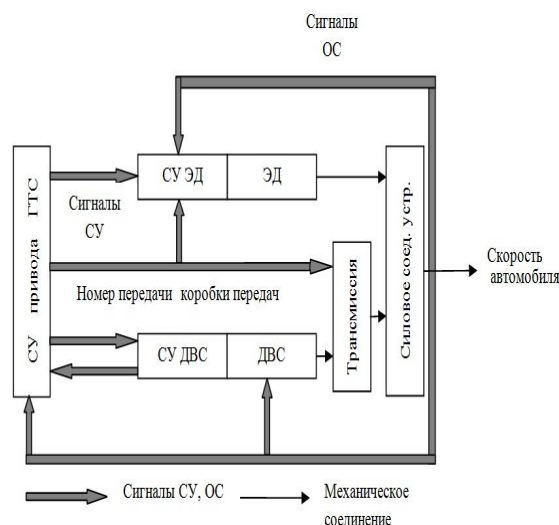


Рисунок 1 – Функциональная схема привода ГТС параллельной конфигурации

Привод гибридного электрического транспортного средства состоит из электрического привода и теплового привода. Приводные двигатели механически соединены с помощью силового соединительного устройства. В силовом соединительном устройстве происходит суммирование моментов двигателей и передача результирующего момента на приводные колеса.

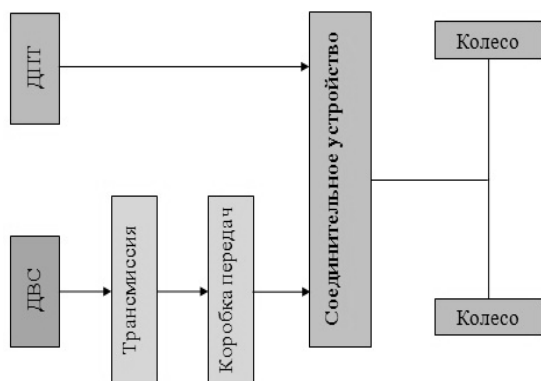


Рисунок 2 – Схема привода гибридного транспортного средства с механической связью приводных двигателей

При совместной работе двигателей на общий вал скорость ЭД будет равна скорости гибридного транспортного средства. Поэтому результирующая механическая характеристика может быть получена суммированием моментов ЭД и ДВС.

Механические характеристики приводных двигателей отличаются, в этом случае существует возможность возникновения неравномерного распределения нагрузки между двигателями, которое зависит от жесткости механических характеристик и от соотношения скоростей идеального холостого хода.

Из этого следует, что в двигательном режиме привода с механической связью приводных двигателей двигатель, скорость идеального холостого хода которого меньше скорости идеального холостого хода результирующей характеристики будет работать в генераторном режиме до тех пор, пока скорость гибридного транспортного средства больше скорости идеального холостого хода одного из приводных двигателей.[3]

Поэтому для выравнивания нагрузки между двумя параллельно включенными двигателями, которые работают на общий вал, необходимо обеспечить равенство скоростей идеального холостого хода и жесткостей механических характеристик, что достигается путем введения ограничений регулятора скорости и тока ЭД.

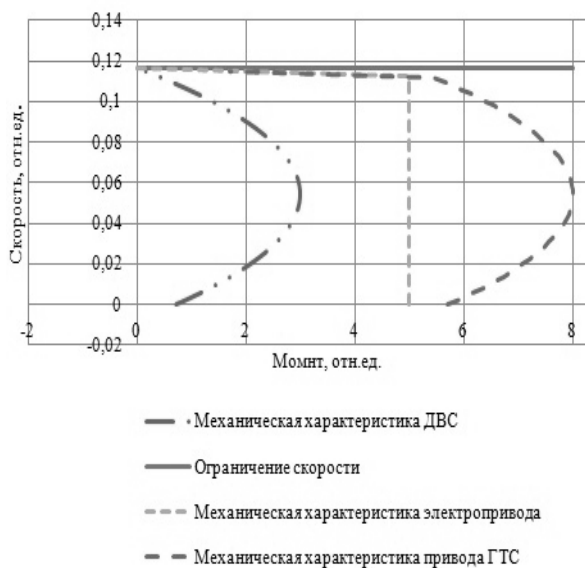


Рисунок 3 – Механическая характеристика гибридного привода

ного электрического транспортного средства параллельной конфигурации

Вводить ограничения по скорости необходимо исходя из скорости холостого хода ДВС при полностью, а также при частично открытой дроссельной заслонке на каждой из передач.

Таким образом, вводя ограничения для регулятора скорости, мы обеспечиваем один режим работы привода гибридного электрического транспортного средства при совместной работе приводных двигателей.

Ограничения регулятора тока будут зависеть от номера передачи, на которой работает гибридное электрическое транспортное средство. Величина ограничения будет уменьшаться с увеличением номера передачи. В отличие от ограничения регулятора скорости ограничение регулятора тока будет иметь линейный характер.

На первой, второй, третьей передачах изменение ограничения тока якоря ЭД будет незначительным, на следующих передачах увидим значительное отличие.

В состав КЭУ входят ДВС и ЭД. Это затрудняет определение параметров регулятора скорости СУ электропривода. Гибридное транспортное средство движется поступательно, в этом случае моменты, развиваемые ДВС и ЭД, необходимо привести к валу гибридного транспортного средства в виде приведенного усилия, которое приложено к приведенной массе, движущейся поступательно и включающей приведенные моменты инерции.[3]

Для повышения эффективности работы привода гибридного электрического транспортного средства необходимо сформировать рациональный алгоритм работы. Алгоритм разрабатывается в соответствии с типовыми режимами работы транспортного средства. Рассмотрим эти режимы.[2]

Режим движения от электродвигателя. В этом случае скорость автомобиля меньше скорости, ниже которой ДВС не работает устойчиво.

Режим движения от ДВС и ЭД. В этом случае требуемая нагрузочная мощность больше мощности ДВС при его работе на оптимальной рабочей характеристике. ДВС с помощью дроссельной заслонки переводится в оптимальный режим работы. Остальную мощность поставляет ЭД.

Режим движения от ДВС. Требуемая нагрузочная мощность меньше мощности ДВС при его работе на оптимальной рабочей характеристике.[4]

При движении автомобиля определяем скорость автомобиля и сравниваем со скоростью, ниже которой ДВС не работает устойчиво. Если скорость автомобиля ниже допустимой выбираем режим движения от ЭД. В противном случае сравниваем нагрузочную мощность и мощность ДВС при его режиме на оптимальной рабочей характеристике. Если мощность ДВС меньше нагрузочной выбираем гибридный режим тяги (режим движения от ДВС и ЭД), в противном случае выберем режим движения от ДВС.[1]

В качестве модели ДВС используем двигатель, работающий по циклу Аткинсона (модифицированный цикл Отто 4-тактного двигателя внутреннего сгорания). Цикл Аткинсона позволяет получить лучшие экологические показатели и экономичность.

В процессе исследований экспериментальным путем была получена механическая характеристика ДВС в относительных единицах при полностью от-

крытой дроссельной заслонке ($\theta = 90^\circ$). Эта характеристика описывается следующим уравнением:

$$T(\omega) = -1.33\omega^2 + 2.07\omega + 0.251 \quad (1)$$

где $T(\omega)$ – зависимость момента ДВС от скорости вращения коленчатого вала;

ω – скорость вращения коленчатого вала.

Для построения семейства механических характеристик при различных углах открытия дроссельной заслонки (90° , 75° , 50° , 25° , 0°) использовали метод смещения графиков. Уравнение момента ДВС представим в следующем виде:

$$T(\omega) = k \cdot T(\omega + \Delta\omega) - \Delta T \quad (2)$$

где $T(\omega)$ – зависимость момента ДВС от скорости вращения коленчатого вала;

k – коэффициент усиления.

Таким образом, изменяя k , $\Delta\omega$ и ΔT получаем необходимые характеристики. На рисунке 4 показана зависимость момента, развиваемого двигателем внутреннего сгорания от скорости, все значения представлены в относительных единицах.

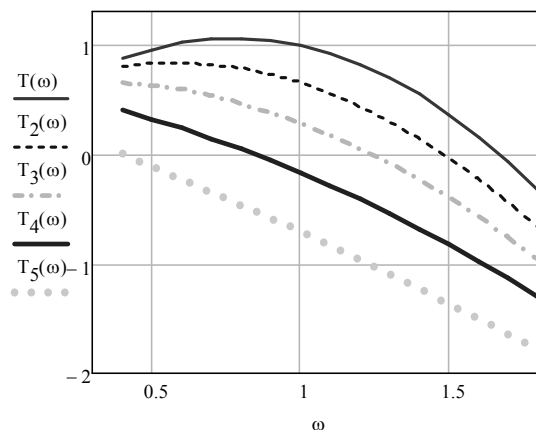


Рисунок 4 – Механические характеристики ДВС (относительные единицы)

Для построения математической модели ДВС в Stimulink необходимо знать уравнения зависимостей $k(\theta)$, $\Delta\omega(\theta)$ и $\Delta T(\theta)$.

По полученным уравнениям и алгоритму работы гибридного транспортного средства, в соответствии с типовыми режимами движения, в пакете MATLAB/Simulink® была построена модель СУ привода гибридного транспортного средства.

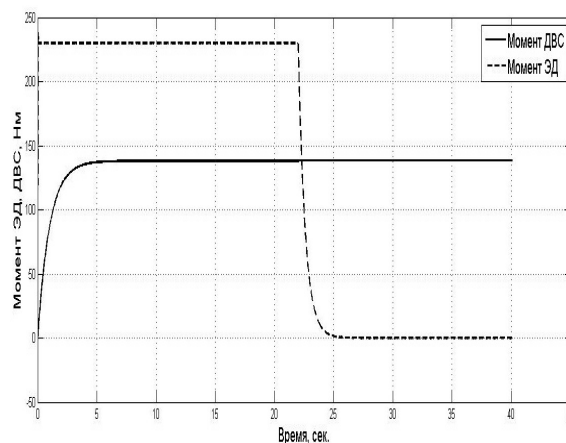


Рисунок 5 – Переходные процессы на первой передаче (скорость транспортного средства)

Как видно из графиков выше, тяговый электропривод отвечает всем требованиям, предъявленным к нему.

СУ обеспечивает эффективную работу двигателя внутреннего сгорания, вводит ограничения скорости двигателя постоянного тока, которые позволяют приводным двигателям работать согласованно.

Переходные процессы в гибридном транспортном средстве отвечают всем требованиям, предъявляемым к ГТС во время разгона и во время работы с установившейся скоростью.

ВЫВОДЫ. Рациональной конфигурацией гибридного транспортного средства является параллельная схема, состоящая из двигателя постоянного тока и двигателя внутреннего сгорания. Наиболее рациональная стратегия управления приводом гибридного транспортного средства заключается в отработывании системой управления заданного алгоритма работы, а также введении ограничений регулятора скорости и тока. Гибридное электрическое транспортное средство актуально, так как позволяет уменьшить расход топлива в городском режиме и частично решить проблемы экологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов К.Л., Тяговый электропривод автомобиля. – М.: Высш.шк., 2009.-57 стр.
2. Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Modern electric hybrid electric and fuel cell vehicles fundamentals theory and design second edition. – New York.: CRC Press, 2010.
3. Колб А.А., Колб А.А., Теорія електроприводу Навчальний посібник. – Д., Національний гірничий університет, 2006. – 511с.
4. Iqbal Husain, Electric and hybrid vehicles. Design fundamentals. - New York.: CRC Press, 2010.

TITLE OF THE PAPER

A. Ivanov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ivanov@ukr.net

Англомова анотація має бути написана грамотною мовою, з використанням сучасною термінології, прийнятої у зарубіжних виданнях. Англомова анотація статті є єдиним інформативним джерелом для міжнародної аудиторії, вона не є підстрочником з мови оригіналу, а є самостійною частиною документу. Машинний переклад НЕ ДОЗВОЛЯЄТЬСЯ.

Key words: не більше п'яти слів. Словосполучення «Key words» – напівжирним.

REFERENCES

1. Tkachenko S.P. Comparative Advertising. Instructions // *Law Magazine*. – 2003. – № 1. – PP. 39–40. [in Ukrainian]

2. Godunov S.K. *The equations of mathematical physics*. – M.: Nauka, 1979. – 392 p. [in Russian]

UDC 255:29.1

TITLE OF THE PAPER (English)

A. Ivanov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ivanov@ukr.net

The document should start with an abstract passage: title (in capitals, centered), authors information, postal address, e-mail, and an abstract with keywords (7–10 lines, collocation «Key words» in bold). Abstracts should be presented in three languages: English and Ukrainian at the beginning, and Russian at the end of the paper. Foreign authors can apply for Ukrainian and Russian abstracts to be composed by editorial board of the journal (should inform when submit the paper); otherwise be sure, that these abstracts are not be loan-translations, but the readable ones with up-to-date terms usage. English abstract is the only informational source of the document for the world scientific society and is of peculiar interest for the international abstract and citation databases.

Key words: should not exceed five words.

TITLE OF THE PAPER (Ukrainian)

А. К. Іванов

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ivanov@ukr.net

Ukrainian abstract of the paper should be here.

Ключові слова: should not exceed five words. Collocation «Ключові слова» in bold.

PROBLEM STATEMENT. A concise introduction with tasks and objectives indicated. The document should be written in Microsoft Office Word 2003 (format .rtf), font Times New Roman 10 pt, single-spaced. Define page margins 2 cm all. A new paragraph should be started by indenting it 0,5 cm from the left margin. Text should follow two-column layout, formatting column width, wordwrap, with a space of 1 cm between the columns. The document is limited to 5 pages (and should exceed 3 pages). U.D.C. is required.

EXPERIMENTAL PART AND RESULTS OBTAINED. All figures should be of black-and-white or greyscale colour depth. For labelling the figure axis the usage of descriptive words rather than symbols is preferred, as in Fig. 1.

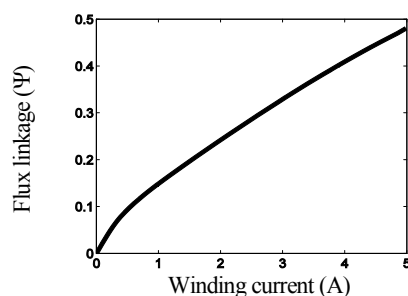


Figure 1 – Figure caption

Figures should be prepared without advanced MS Word picture functions, the only «Insert Picture» function may be applied and only standard picture file formats (e.g. JPEG, TIFF) are allowed. Figures should be placed directly in the text, centred, one blank line should precede the figure and one blank line should follow the caption.

Equations should be composed with Microsoft Equation Editor with default settings, indexes in Roman only, and numbered in parentheses flush with the right hand margin as shown bellow in (1). All variables should be described in the body text:

$$Af_g^3 + Bf_k + C = 0. \quad (1)$$

Tables should be a part of the text. Only usage of MS Word build-in functions for table composition is allowed (MS Excel tables should not be used). Centre captions above the relevant table. One blank line should precede the caption and one blank line should follow the table.

Table 1 – Table caption

| | |
|---------------------------------------|-------|
| Phase-winding ohmic resistance R, Ohm | 3,330 |
| Self-inductance L, H | 0,223 |

CONCLUSIONS. The main research outcomes, practical effect, and further scientific prospects should be pointed out here.

Hard copy of the paper, signed by the authors, is to be sent to the editorial board, as well as its e-copy, **the thematic section specified**, which is followed by reviewing and proof-reading by the editorial board. Authors are responsible for the document content.

REFERENCES

1. Štumberger B., Štumberger G., Dolinar D. Evaluation of saturation in interior permanent-magnet synchronous motor // *IEEE Transactions on Industry Applications*. – 2003. – № 5. – PP. 264–271.
2. Kuczmann M., Iványi A. *The Finite Element Method in Magnetism*. – Budapest: Academic Press, 2008. – 392 p

TITLE OF THE PAPER (Russian)

А. К. Иванов

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ivanov@ukr.net
Russian abstract of the paper should be here.

Ключевые слова: key words should not exceed five. Collocation «Ключевые слова» in bold.
УДК 255:29.1

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (на языке оригинала)

А. К. Иванов

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ivanov@ukr.net

Название, авторы (полу жирным), почтовый и электронный адрес, а также аннотация с ключевыми словами (7–10 строк) приводятся на трёх языках: украинском и русском в начале статьи, на английском – в конце. Название прописными буквами размещается посередине. Все аннотации должны иметь ту же структуру, что и основной текст статьи, быть лаконичными и логически законченными частями документа, независимыми от основного текста.

Ключевые слова: не более пяти слов. Словосочетание «Ключевые слова» – полу жирным.

НАЗВА СТАТТІ (українською мовою)

А. К. Иванов

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ivanov@ukr.net

Аннотация на украинском языке выполняется по тем же требованиям, что и на языке оригинала, и занимает 7–10 строчек вместе с ключевыми словами. Авторы, не владеющие украинским языком, при подаче статьи могут просить редколлегию о составлении украиноязычной аннотации.

Ключові слова: не более пяти слов. Словосочетание «Ключові слова» – полу жирным.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Краткое введение с указанием цели работы. Основной текст располагается в две колонки с автоматическим переносом слов. Расстояние между колонками 1 см, выравнивание текста по ширине. Текстовый редактор Microsoft Word 2003 (формат .rtf). Межстрочный интервал одинарный, шрифт Times New Roman 10 pt. Абзацный отступ – 0,5 см, поля с каждого края страницы 2 см. Наличие УДК обязательно. Объем статьи – 3–5 полных страниц.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Рисунки выполняются черно-белыми или в оттенках серого. Оси на графиках должны иметь поясняющее название (рис. 1).

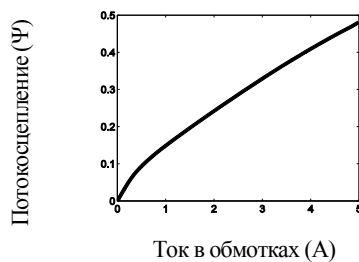


Рисунок 1 – Название рисунка

Не допускается создание рисунков с использованием встроенных функций редактора MS Word, разрешается функция вставки только стандартных форматов изображений (JPEG, TIFF и др.). Выравнивание по центру, пустая строка перед рисунком и после названия.

Формулы набираются в редакторе MS Equation Editor и нумеруются арабскими цифрами в скобках

по правому краю. Индексы должны быть набраны только латинскими буквами. Все переменные описываются в тексте выше или сразу после формулы:

$$Af_g^3 + Bf_k + C = 0. \quad (1)$$

Таблицы создаются с помощью встроенных функций редактора MS Word (экспорт таблиц из MS Excel не допускается), выравнивание по центру. Перед названием таблицы и после нее – пустая строка.

Таблица 1 – Название таблицы

| | |
|------------------------------------|-------|
| Спротивление R фазовой обмотки, Ом | 3,330 |
| Самоиндукция L, Н | 0,223 |

ВЫВОДЫ. Указать основные результаты исследований, их практическую ценность и дальнейшие перспективы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткаченко С.П. Порівняльна реклама. Правила // Юридичний журнал. – 2003. – № 1. – С. 39–40.
2. Годунов С.К. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1979. – 392 с.

Список литературы подается дважды: на языке оригинала после статьи, и на английском языке после англоязычной аннотации.

В адрес редколлегии направляется электронный вариант статьи с указанием научной рубрики для дальнейшего рецензирования и редактирования. Ответственность за содержание материалов несут авторы.

TITLE OF THE PAPER

A. Ivanov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ivanov@ukr.net

Англоязычная аннотация занимает 7–10 строчек вместе с ключевыми словами и должна быть написана грамотно, с использованием современной терминологии, принятой в зарубежных изданиях, т. к. является единственным источником информации для международной аудитории. Она является самостоятельной частью документа и не должна быть подстрочником с языка оригинала. Машинный перевод НЕ ДОПУСКАЕТСЯ.

Key words: не более пяти слов. Словосочетание «Key words» – полу жирным.

REFERENCES

1. Tkachenko S.P. Comparative Advertising. Instructions // *Law Magazine*. – 2003. – № 1. – PP. 39–40. [in Ukrainian]
2. Godunov S.K. *The equations of mathematical physics*. – М.: Nauka, 1979. – 392 p. [in Russian]