

## Требования к оформлению статей журнала

Представляемые для публикации материалы должны соответствовать перечисленным ниже требованиям, и высланы строго в заявленные сроки до 1.06.2021 г.

## УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

К рассмотрению принимаются ранее не опубликованные научные работы на украинском, русском или английском языках.

Минимальное кол-во страниц – 4. Максимальное кол-во страниц – 10. Рекомендуемое кол-во страниц – 5, 6.

## В РЕДАКЦИЮ ПРЕДОСТАВЛЯЮТСЯ

**Электронный вариант** формат (\*.doc) Microsoft Office Word 2003 for Windows:

Не позднее **1.05.2021:**

- заявка на участие в конгрессе ([Приложение 4 ЗАЯВКА НА УЧАСТИЕ В КОНГРЕССЕ.doc](#));

Не позднее **1.06.2021:**

- сопроводительное письмо с просьбой об опубликовании;
- статья, оформленная согласно требованиям, с рисунками;
- рисунки в отдельном файле, в формате редактора в котором они были созданы;
- сведения об авторах ([Приложение 3 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.doc](#));
- рецензия и экспертное заключение (с мокрой печатью) в формате JPEG.

**Бумажный вариант:**

Не позднее **15.07.2021** (по желанию автора при условии, что электронный вариант уже согласован с редакцией Конгресса,):

- сопроводительное письмо с просьбой об опубликовании;
- сведения об авторе ([Приложение 3 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.doc](#));
- один экземпляр статьи, оформленной по требованиям;
- Экспертное заключение о возможности опубликования (с мокрой печатью);
- Рецензия, подписанная доктором наук (с мокрой печатью);

Рукопись статьи должна быть напечатана на белой бумаге лазерным или струйным принтером в 1-м экземпляре на одной стороне белой бумаги формата А4 (210x297 мм).

## ПЕРЕСЫЛКА СТАТЕЙ

**Статьи, присылаемые по электронной почте:**

- Электронные материалы принимаются только в формате (\*.doc) Microsoft Office Word 2003. Объем файла доклада не должен превышать 10 Мб.
- Презентации для сопровождения докладов также принимаются по электронной почте в формате Microsoft Office PowerPoint, либо как наборы картинок JPEG.
- Материалы могут быть отправлены по электронному адресу [aedlab@gmail.com](mailto:aedlab@gmail.com). В теме сообщения обязательно указать «XXVI Конгресс»

**Статьи, присылаемые обычной почтой** направляются или доставляются лично по адресу:

**61070, Украина, г. Харьков, ул. Чкалова, 17. Каф. 203.**

**Оргкомитет Конгресса двигателестроителей**

каф. 203, комн. 106 моторного корпуса (Бойко Валерия Владиславовна),  
комн. 116 моторного корпуса (Божененко Тамара Афанасьевна),

тел.: (057) 788-45-25, 788-43-41, 788-47-78.

Skype: congress\_khai

Журнал «АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ»

- входит в утвержденный ГАК Перечень научных профессиональных изданий Украины, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук;
- сохраняется в общегосударственной реферативной базе данных «Україніка наукова» и публикуется в соответствующих тематических сериях украинского реферативного журнала «Джерело» (свободный он-лайн доступ к ресурсам на Web-сервере <http://www.nbu.gov.ua>) (Украина);
- сохраняется в реферативной базе данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ) Российской академии наук и публикуется в соответствующих тематических сериях РЖ (свободный он-лайн доступ к ресурсам на Web-сервере <http://www.viniti.ru>) (Российская Федерация);
- включен в международные библиометрические и наукометрические базы данных: Ulrichsweb Global Serials Directory; OCLC WorldCat; Index Copernicus; CiteFactor; AcademicKeys; Infobase Index; WorldCat; Google Scholar;
- Электронный вариант журнала размещен на сайте <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/aktt>

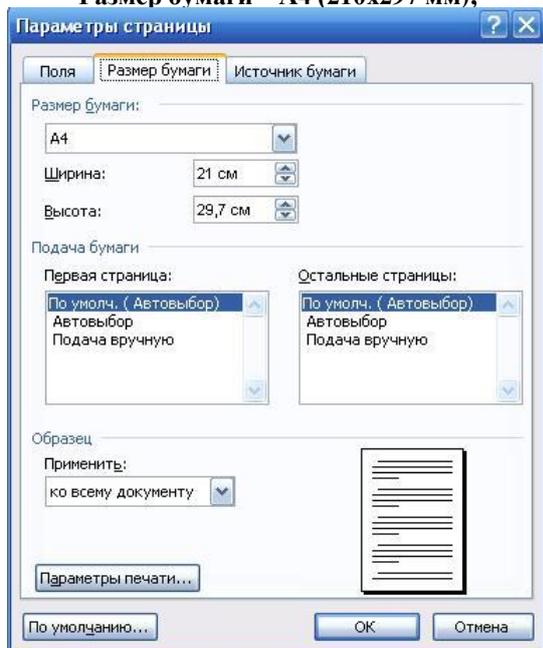
## Требования к оформлению статей журнала

Представляемые для публикации материалы должны соответствовать перечисленным ниже требованиям, и высланы строго в заявленные сроки до 1.06.2021 г.

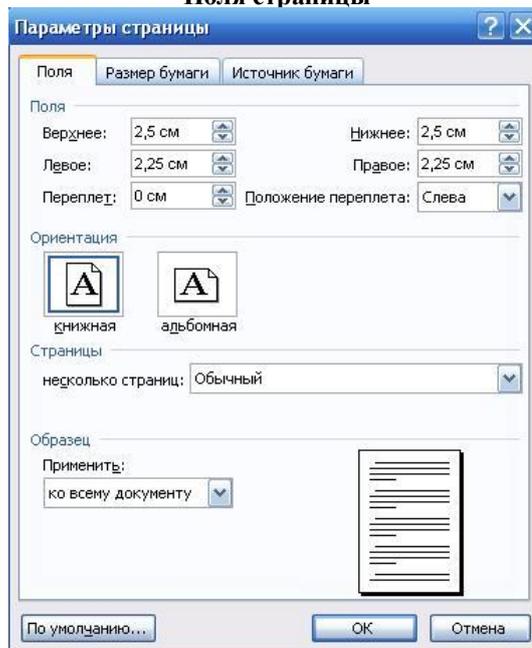
## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ

в соответствии с требованиями ВАК Украины (бюл. вак № 2,3 2008)

Размер бумаги – А4 (210x297 мм);



Поля страницы



## СТРУКТУРА СТАТЬИ:

см. пример оформления статьи, работают ссылки (нажатие на ссылку + Ctrl)

УДК XXX.XXXX:

Без абзаца. Прописные, 12pt Times New Roman, выравнивание по левому краю, 1 межстрочный интервал.  
(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал)

АВТОРЫ:

*И.О.Ф. Автора.* Без абзаца. Прописные, жирный, 12pt Times New Roman, выравнивание по левому краю, 1 межстрочный интервал  
(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал)

ОРГАНИЗАЦИЯ:

*Организация, страна.* Без абзаца. Строчные, курсив, жирный, 12pt Times New Roman, выравнивание по левому краю, 1 межстрочный интервал  
(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал)

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ:

Без абзаца. Прописные, 12pt Times New Roman, жирный, выравнивание по центру, 1 межстрочный интервал.  
(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал)

АННОТАЦИЯ 1:

Без абзаца. На языке оригинала статьи.

Слово «Аннотация» не пишется. Шрифт – 10pt Times New Roman. Выравнивание по ширине, курсив, один межстрочный интервал, отступ слева – 7,5 мм.  
(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал)

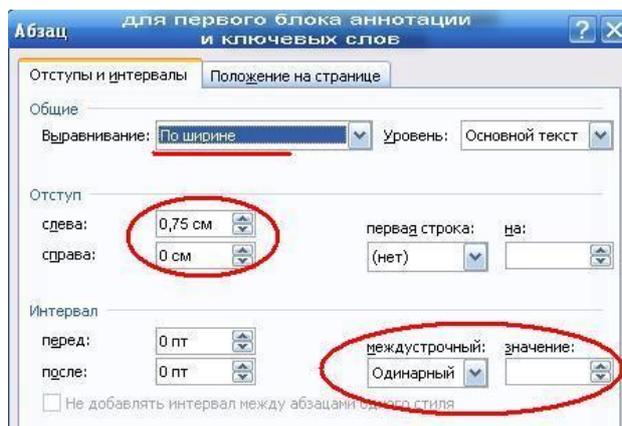
**Количество знаков (без пробелов) для:**

- Украинский, русский и английский язык -  
**не менее 1800 знаков без пробелов**

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Без абзаца. Абзац начинается с надписи **Ключевые слова:** (*Ключові слова;* *Key words:*) (курсив, жирный, 10pt Times New Roman), а далее разделенные точкой с запятой - 6 – 10 слов на языке оригинала статьи. (курсив, 10pt Times New Roman, выравнивание по ширине, один межстрочный интервал, отступ слева – 7,5 мм.).

(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал)



## Требования к оформлению статей журнала

Представляемые для публикации материалы должны соответствовать перечисленным ниже требованиям, и высланы строго в заявленные сроки до 1.06.2021 г.

**ТЕКСТ СТАТЬИ:**

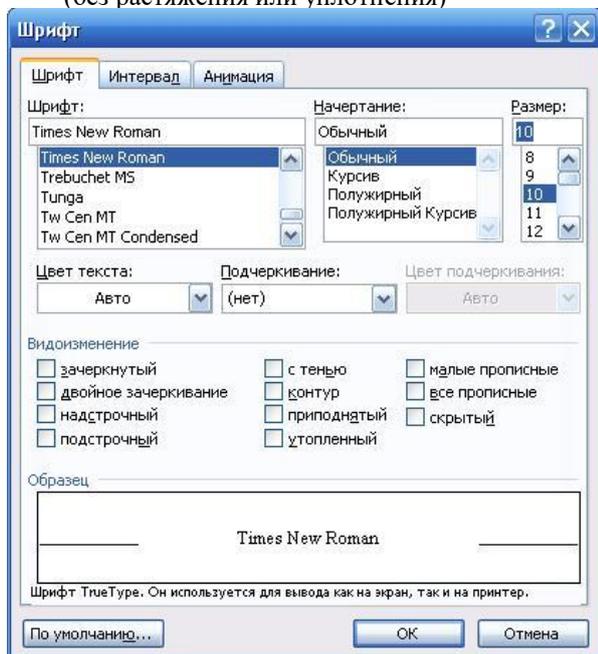
Согласно постановлению ВАК Украины от 15.01.2003 № 7-05/1 текст статьи должен иметь такую структуру:

- **постановка проблемы** в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- **анализ последних исследований и публикаций**, на которые опирается автор;
- **формулирование цели статьи** (постановка задачи);
- **изложение основного материала** исследования с полным обоснованием полученных научных результатов;
- **выводы** из данного исследования и перспективы дальнейших работ в данном направлении.

➤ **Литература**➤ **References**➤ **Дополнительная информация**

Текст статьи оформляется:

1. Шрифт – Times New Roman, размер 10, интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения)



Полное заполнение страниц, номера страниц не проставляются.

**Иллюстрации к статье:**

Подаются в виде файлов с расширением \*.TIF или \*.JPG (разрешение 300 dpi, масштаб 1:1). Иллюстрации (чертежи, рисунки, графики, схемы, диаграммы и фотоснимки) следует располагать в статье непосредственно после текста, где они упоминаются впервые, или на следующей странице и должны иметь порядковый номер. Кроме этого, иллюстрации подаются отдельным файлом.

Толщина линий на иллюстрациях не должна быть меньше, чем 1 пункт (1 pt). Все надписи на иллюстрациях должны читаться. Шрифт – Times New Roman, размер 10, обычный! (курсив запрещен).

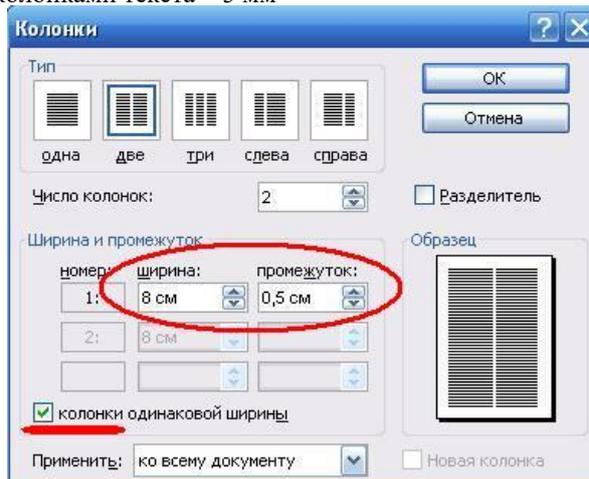
Все обозначения на рисунках сопровождаются пояснениями в тексте или в подписях к рисункам.

Графики и диаграммы, построенные в Microsoft Excel, дополнительно подаются в электронном виде отдельными файлами. Имя файла должно соответствовать наименованию или номеру рисунка в тексте статьи.

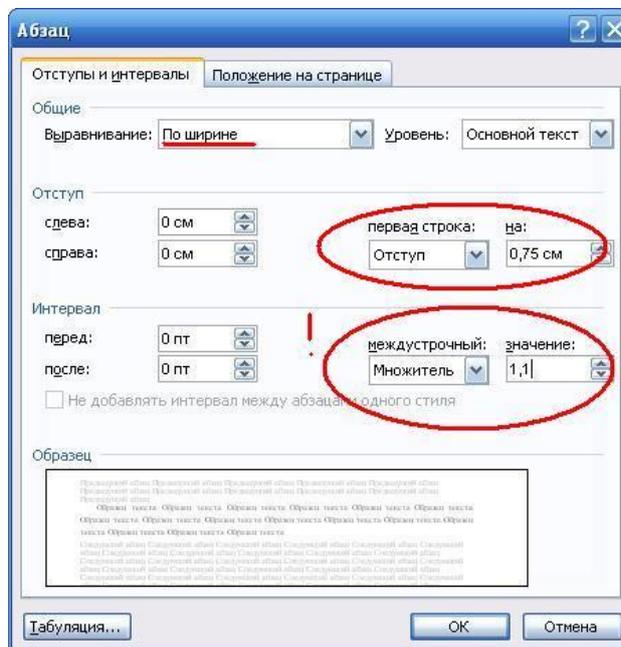
Оси графиков должны иметь названия и единицы измерения.

Качество рисунков должно обеспечивать возможность их полиграфического воспроизведения без дополнительной обработки. Несоблюдение этого требования может привести к тому, что научная работа будет отклонена или опубликована не в том виде, как это задумал автор.

2. Две колонки по 8 см, интервал между колонками текста – 5 мм



3. Межстрочный интервал – 1.1 (множитель). Выравнивание текста – по ширине, автоматическая расстановка переносов слов. Абзацы с красной строки (отступ 7,5 мм)



Требования к оформлению статей журнала

Представляемые для публикации материалы должны соответствовать перечисленным ниже требованиям, и высланы строго в заявленные сроки до 1.06.2021 г.

**Подписуточные надписи:**

Подписуточная надпись выполняется шрифтом основного текста на расстоянии одной строки от рисунка, межстрочный интервал – одинарный, надпись центрируется, например:

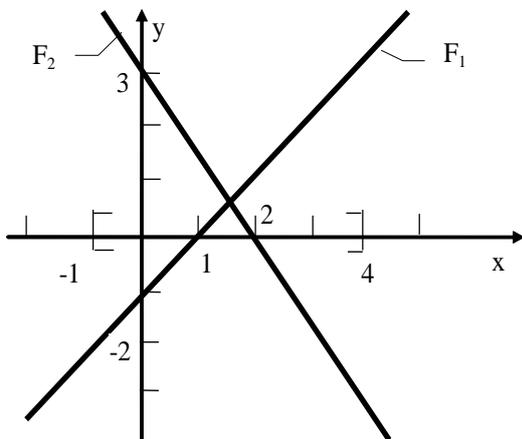


Рис. 1. Графики функций  $F_1$  и  $F_2$

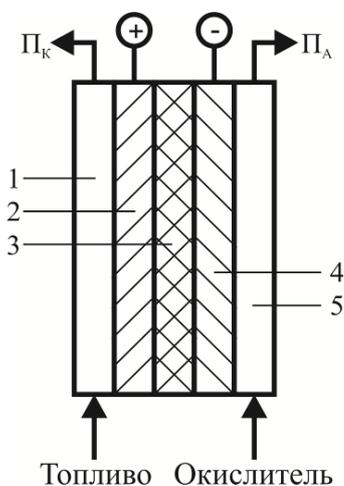


Рис. 2. Принципиальная схема ТЭ:  
1 – анодная камера; 2 – анод; 3 – электролит;  
4 – катод; 5 – катодная камера;  $\Pi_k$ ,  $\Pi_a$  – продукты реакции с катодной и анодной камеры

**Таблицы:**

Таблицы должны быть пронумерованы: Таблица 1, Таблица 2, ... и т.д (слово Таблица располагается по правому краю страницы). Заголовок таблицы центрируется. Межстрочный интервал – одинарный. При необходимости размер шрифта можно уменьшить. Никакие сокращения слов, кроме общепринятых, в таблицах не допускаются.

Таблица 1

Координаты траектории инструмента

№ п/п	X	Y	Z	U
T <sub>1</sub>	-22,487	-32,138	-9,651	0,0
T <sub>2</sub>	-19,136	-24,651	-5,515	1,0
T <sub>3</sub>	-13,453	-16,461	-3,008	2,0

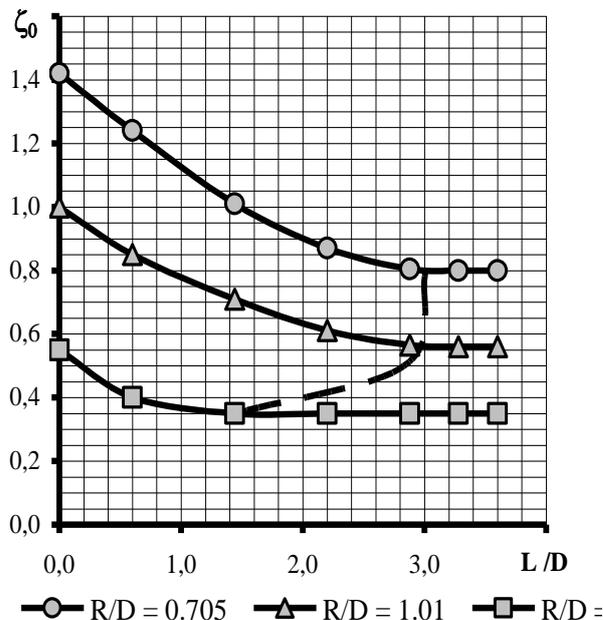


Рис. 3. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления  $\zeta_0$  от относительных геометрических параметров  $L/D$  и  $R/D$  (при  $d/D = 1$ )

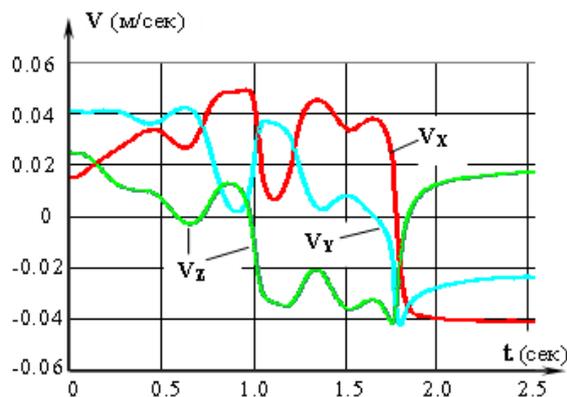


Рис. 4. Графики осевых скоростей:  
 $V_x$  – по оси X,  $V_y$  – по оси Y,  $V_z$  – по оси Z

## Требования к оформлению статей журнала

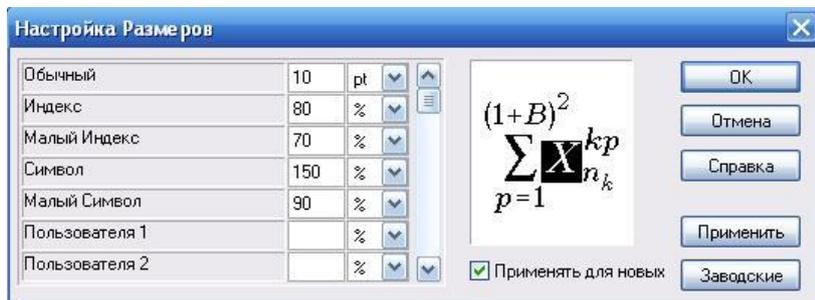
Представляемые для публикации материалы должны соответствовать перечисленным ниже требованиям, и высланы строго в заявленные сроки до 1.06.2021 г.

Формулы:

Редактор формул **MathType** (обязательное требование для **Microsoft Word** версии **2007** и выше.)

Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы – запрещается.

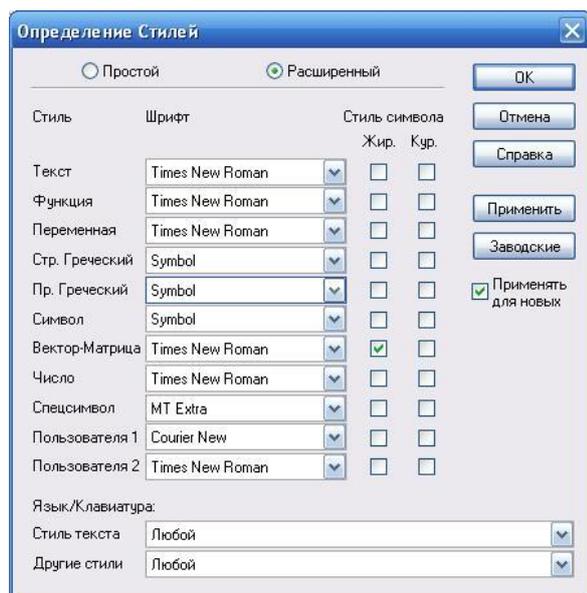
Произвести настройки редактора в меню:



Формула располагается по центру (без абзаца) строки.

Нумерация цифровая, сквозная, номер формулы (в круглых скобках, 10 пт) располагается по правому краю страницы на одном уровне с формулой или ниже.

Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя.



Пояснения значений символов и числовых коэффициентов следует располагать непосредственно под формулой, в той последовательности, в какой они представлены в формуле. Каждое значение необходимо пояснять в новом абзаце с отступом 7,5 мм. Первый ряд пояснений начинают со слова «где» (без отступа), например:

$$Re_T^{**} = \Psi_{\Sigma} \cdot \int_0^x q_w dx \cdot \left[ \mu^* (i_w^* - i_w) \left( \frac{2}{\pi} \beta + 1 \right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где  $\beta$  – угол натекания струи на преграду;  
 $\mu^*$  – вязкость теплоносителя при температуре  $T^*$ ;  
 $\Psi_{\Sigma}$  – суммарный коэффициент отличия данного процесса теплообмена от стандартного.

Списки

Маркированный (–), нумерованный: формат номера Times New Roman 10pt, абзац 7,5 мм, табуляция после номера 5 мм.

Заголовки:

Заголовки каждого раздела должны быть пронумерованы 1, 2, ...

Шрифт – Times New Roman полужирный, строчный, 12pt, выравнивание по центру, 1 межстрочный интервал, отступы абзацев отсутствуют, от окружающего текста отделяется пустыми строками.

Подразделы:

При включении подразделов и подпунктов необходимо использовать для каждого заголовка

Шрифт – Times New Roman полужирный, строчный, 10pt, выравнивание по центру, 1 межстрочный интервал, отступы абзацев отсутствуют, от окружающего текста отделяется пустыми строками.

ЛИТЕРАТУРА:

**Самоцитирование не должно превышать 20% от общего списка источников.**

При цитировании литературы в тексте необходимо указывать номер в квадратных скобках [1]. Нумерация литературы в порядке упоминания. Список использованной литературы приводится в конце статьи (отступ от последней строчки статьи 1 строка одинарного интервала) и начинается ключевым словом Литература, набранным строчными буквами (шрифт полужирный 12 пт, по центру, без абзаца). Источники списка литературы оформляются в соответствии с библиографическими требованиями ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 (шрифт курсив 10 пт, выравнивание по ширине, абзац 7,5 мм, 1 межстрочный интервал).

(Приложение 2 ОБРАЗЦЫ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ОПИСАНИЙ ГОСТ 7.1).

**1. Библиографическое описание** каждого источника должно при наличии сопровождаться его идентификатором цифрового объекта (**DOI – Digital Object Identifier**), который приводится через пробел после библиографического описания источника. Библиография должна быть корректной (соответствующие результаты должны появиться в указанной статье), точной (правильный номер и номера страниц, и т.д.), современной (описывать последние достижения в исследуемом вопросе) и исторической (отражать историю

## Требования к оформлению статей журнала

Представляемые для публикации материалы должны соответствовать перечисленным ниже требованиям, и высланы строго в заявленные сроки до 1.06.2021 г.

изучения вопроса), доступной (не должна содержать ссылки на неопубликованные или непечатные работы).

**2. Транслитерированный список литературы**, в соответствии с требованиями наукометрической базы SCOPUS, является полным аналогом списка литературы и выполняется на основе транслитерации языка оригинала латиницей (используется Гарвардский стиль оформления (BSI)).

При этом число и порядок источников в списке литературы должны оставаться неизменными.

Ссылки на англоязычные источники не транслитерируются.

Транслитерация украинского языка латиницей выполняется на основе Постановления Кабинета Министров Украины № 55 от 27 января 2010 г.

(<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/55-2010-%D0%BF>),

русского – на основе ГОСТ 7.79-2000 (ISO 9-95) (<http://www.ifap.ru/library/gost/7792000.pdf>).

Рекомендуется использовать автоматические средства транслитерации

- для укр. языка <http://www.translit.kh.ua/>,

- для русск. языка <http://translit.net>).

Транслитерированный список литературы приводится после Литературы в конце статьи (отступ от последней строчки 1 строка одинарного интервала) и начинается ключевым словом **References**, набранным строчными буквами (шрифт полужирный 12 пт, по центру, без абзаца Транслитерированный список литературы оформляется в соответствии с библиографическими требованиями указанными выше (шрифт без курсива 10 пт, выравнивание по ширине, абзац 7,5 мм, 1 межстрочный интервал. См. файл [Приложение 2 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ОПИСАНИЯ И REFERENCES](#)).

**Дополнительная информация:**

После текста статьи приводится информация, расположенная в одну колонку. Дополнительная информация отделяется от последней строчки текста статьи 1-й строкой, 1 межстрочный интервал. Указывается информация о поступлении статьи в редакцию (курсив, выравнивание по правому краю, 1 межстрочный интервал текста) в виде – *Поступила в редакцию 00.00.2019, рассмотрена на редколлегии 00.00.2019*

(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал)

**Рецензент:**

Далее приводится информация о рецензенте.

Без абзаца, строчный шрифт, 10pt Times New Roman, выравнивание по центру, 1 межстрочный интервал. Начинается текст со слова Рецензент: (шрифт полужирный) с указанием научной степени, научного звания, должности, Ф.И.О., организации и города расположения организации.

(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал)

Далее приводятся 2 информационных блока на украинском, русском или английском языках (исключается основной язык статьи) в следующем порядке (см. образец оформления статьи):

**Блок на первом языке (АННОТАЦИЯ 2),**

(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал).

**Блок на втором языке (АННОТАЦИЯ 3):**

**ВНИМАНИЕ! Все аннотации не менее 1800 знаков (без пробелов)!**

**Каждый блок имеет следующий формат:**

**ЗАГЛОВОК СТАТЬИ** на соответствующем языке

Без абзаца. Прописные, 10pt Times New Roman, жирный, выравнивание по центру, 1 межстрочный интервал.

**И.О.Ф. авторов** на соответствующем языке

Без абзаца. Строчные, жирный, курсив, 10pt Times New Roman, выравнивание по центру, 1 межстрочный интервал), интервал перед и после строки – 3 пт.

**Аннотация** на соответствующем языке

Абзац 7,5 мм. Слово «Аннотация» не пишется. Шрифт - 10pt Times New Roman, выравнивание по ширине, один межстрочный интервал.

**Ключевые слова** на соответствующем языке

Абзац 7,5 мм. Абзац начинается с надписи **Ключові слова:** (**Ключевые слова:** или **Key words:**) (курсив, жирный, 10pt Times New Roman), а далее разделенные точкой с запятой – 6...10 слов на соответствующем языке (курсив, 10pt Times New Roman, выравнивание по ширине, один межстрочный интервал).

(пустая строка, 10pt, 1 межстрочный интервал)

**За информационными блоками располагаются сведения о авторах** (см. пример оформления статьи):

Приводится информация о каждом авторе статьи (обязательно дополнительно указывается на англ.яз.).

**Фамилия, Имя, Отчество** (полностью), научная степень, научное звание, должность, организация, город расположения организации, страна, e-mail, номер контактного телефона, **учетная запись ORCID указывается обязательно, регистрация <https://orcid.org/register>, др. идентификаторы (ResearchGate, Scopus, WoS) при их наличии**

УДК 621.391.8

И. В. БУНЯЕВА<sup>1</sup>, А.И. НИКОЛЕНКО<sup>1</sup>, А.Ю. ВОРОБЬЕВ<sup>1</sup>, А.К. МИХАЙЛОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

<sup>2</sup> *ГП ЗМКБ «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина*

## АЛГОРИТМ БЫСТРОГО ПОИСКА СИГНАЛОВ В ПРИЕМНИКАХ GNSS

*Выполнен синтез цифрового алгоритма быстрого поиска навигационных сигналов в приёмниках GNSS. Обсуждается архитектура соответствующего устройства быстрого поиска сигналов, а также его возможности в сравнении с традиционными подходами. Показано, что наилучшим, с точки зрения простоты реализации, способом достижения необходимой чувствительности алгоритма является каскадирование когерентного и некогерентного накопления принимаемых сигналов. При этом технически проще установить минимально возможное время когерентного накопления, а необходимую чувствительность обеспечивать некогерентным накоплением ..... не менее 1800 знаков (без пробелов)!*

**Ключевые слова:** навигационный сигнал, GNSS, ДПФ, быстрый поиск

### Введение

Навигационные спутники излучают в L диапазоне сигналы, модулированные псевдослучайными последовательностями (ПСП), которые, в свою очередь, модулированы символами цифровой информации.

Перед началом поиска навигационных сигналов (НС) положение ПСП на оси времени приёмника и сдвиг частоты несущей НС относительно частоты гетеродина приёмника неизвестны.

Задачей аппаратно или программно реализованного в приёмнике GNSS алгоритма быстрого поиска НС состоит в обнаружении НС и максимальном быстром определении его параметров.

При поисковом измерении параметров НС удобно оперировать понятием области поиска на плоскости задержка/частота. Площадь этой области во многом определяет структуру алгоритма быстрого поиска, а также его характеристики. Эта площадь пропорциональна произведению длины кода ПСП на интервал неопределённости по частоте, который в свою очередь, равен сумме диапазона доплеровских сдвигов частоты и максимального ухода частоты гетеродина приёмника.

Современный этап развития GNSS характерен как развёртыванием новых систем спутниковой навигации, так и совершенствованием существующих.

Необходимость в уменьшении взаимного влияния НС различных систем, приводит к существенному (в 10 – 20 раз) увеличению длины используемых в новых НС кодов. Пропорционально возрастают и требования к устройствам поиска НС.

Существует также довольно широкий класс потребителей информации GNSS, критичных к време-

ни получения первого навигационного отчёта после включения соответствующей аппаратуры.

Целью данной работы является разработка эффективного алгоритма быстрого поиска НС [1 – 3].

### 1. Постановка задачи

Основной операцией при обнаружении сигнала является формирование комплексного корреляционного интеграла  $\dot{Y}(k\Delta\tau, \Delta f)$  для всех значений  $(k\Delta\tau, \Delta f)$  из области поиска

$$k = \overline{1, K}; \quad l = \overline{-L, L},$$

где  $k\Delta\tau$  – длина ПСП,

$2F = 2L\Delta f$  – интервал неопределённости по частоте,

$\Delta\tau$  – шаг дискретизации по задержке,

$\Delta f$  – по частоте.

$$\dot{Y}(k\Delta\tau, \Delta f) = \int_T \dot{u}(t)P(t - k\Delta\tau) \exp(j2\pi l\Delta f t) dt, \quad (1)$$

где  $\dot{u}(t)$  – принимаемая смесь сигнала с шумом,

$P(t)$  – известная ПСП, длина которой определяется типом НС, и периодом  $T$ .

Длина ПСП для системы GPS, равна 1023 для НС L1 C/A, 10230 для НС L5, 20460 для НС L2C.

Близкие характеристики имеют НС и других навигационных систем. Кроме того в (1) не учитывается деформация огибающей сигнала за счёт эффекта Доплера.

Процедура поиска предполагает формирование комплексного корреляционного интеграла для всех возможных значений параметров опорного сигнала, являющегося копией принимаемого НС. Далее определяется максимальное значение модуля (или квадрата модуля)  $Z(k\Delta\tau, \Delta f) = |\dot{Y}(k\Delta\tau, \Delta f)|$  ком-

плексного корреляционного интеграла и сравнивается с заранее определённым порогом.

Обычно поиск в навигационных приемниках выполняется последовательным «просмотром» всех допустимых значений параметров сигнала. Каждая пара значений задержка/частота определяет координаты т.н. «ячейки» поиска.

Используемый обычно размер ячейки поиска (шаги дискретизации выходного эффекта устройства поиска по задержке и частоте) составляет 0,5 длительности символа ПСП на  $1/2T$ , где  $T$  – время когерентного накопления сигнала в каждой ячейке поиска. Обычно  $T = 1$  мс, соответственно  $1/2T = 500$  Гц.

Время, в течение которого происходит формирование каждого значения выходного эффекта  $Z(k\Delta\tau, l\Delta f)$  (интервал принятия решения), определяет чувствительность алгоритма, т.е. минимальное значение мощности сигнала, при котором он может быть обнаружен.

Это очень важный параметр алгоритма поиска НС. Чем больше интервал принятия решения, тем выше чувствительность алгоритма.

Однако увеличение этого интервала быстро приводит к неприемлемым значениям времени поиска из-за чрезвычайно большого числа ячеек поиска.

В частности, при непосредственном поиске НС L5 с длиной ПСП, равной  $P = 10230$  элемента, в типовой полосе частот  $2F = 10$  кГц размер области поиска составляет 409200 ячеек. Даже при величине интервала принятия решения 1 мс, время сканирования всей области поиска превысит 409 сек.

Такие значения времени захвата НС и связанного с ним времени получения первого навигационного отсчёта неприемлемы для большинства приложений.

Сказанное стимулирует разработку эффективных алгоритмов и устройств быстрого поиска НС.

## 1. Алгоритм быстрого поиска сигналов

Преимуществом последовательного способа поиска НС является его простота – для его реализации не требуются дополнительные устройства. Для поиска обычно используются корреляторы, входящие в состав петель слежения за параметрами НС. Недостаток этого способа, большое время поиска.

Техника быстрого параллельного поиска разрабатывалась для обнаружения с высокой чувствительностью C/A кода GPS и непосредственного поиска P кода GPS [1, 2, 4].

При этом значения корреляционного интеграла рассчитываются одновременно для всех ячеек поиска с помощью соответствующего устройства.

Стандартным решением при программной реализации алгоритма поиска в сигнальном процессоре

является вычисление корреляции в частотной области с использованием кольцевой свёртки [3].

При аппаратной реализации этого алгоритма популярно использование согласованной фильтрации в комбинации с быстрым преобразованием Фурье (БПФ) [5].

Для дальнейшего удобно представить формулу (1) в следующем виде

$$\begin{aligned} |\dot{Y}(k\Delta\tau, l\Delta f)| &= \sum_{m=1}^M \dot{y}_m(k\Delta\tau) \exp(j2\pi l m \Delta f \Delta T) = \\ &= \sum_{m=1}^M \dot{y}_m(k\Delta\tau) \exp(j2\pi l m / M), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\dot{y}_m(k\Delta\tau)$  – результат свертки принимаемого колебания с отрезком ПСП длиной  $\Delta T$ :

$$\dot{y}_m(k\Delta\tau) = \int_{(m-1)\Delta T}^{m\Delta T} \dot{u}(t + k\Delta\tau) P(t), \quad m=\overline{1, M}. \quad (3)$$

Величина  $\Delta T$  выбирается из условия  $L\Delta f \Delta T = L\Delta T / 2T \leq 1/8$ , позволяющего пренебречь изменением фазы опорного сигнала на интервале времени  $\Delta T$ .

Из этого условия, в частности, следует, что

$$M = 4L. \quad (4)$$

Вычисления по формуле (3) выполняются в дискретном виде, когда непрерывный сигнал  $\dot{u}(t)$  представлен на интервале обработки своими отсчётами  $\dot{u}(n\Delta t)$ , а интеграл в (3) – соответствующей суммой:

$$\dot{y}_m(k\Delta\tau) = \sum_{n=(m-1)N}^{mN} \dot{u}(n\Delta t + k\Delta\tau) P(n\Delta t), \quad m=\overline{1, M}, \quad (5)$$

где  $N = \Delta T / \Delta t$  – число отсчётов сигнала, уместающихся на интервале времени  $\Delta T$ .

Содержанием соотношения (2) является дискретное преобразование Фурье (ДПФ) отсчётов  $\dot{y}_m(k\Delta\tau)$ .

Для соответствующих вычислений обычно используют алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ). Практическая реализация вычислений по формуле (5) упрощается, если шаги дискретизации  $\Delta t$  выходного эффекта и обрабатываемой реализации  $\Delta\tau$  выбрать одинаковыми.

При этом формула (5) примет вид, удобный для реализации:

$$\dot{y}_m(k\Delta\tau) = \sum_{n=(m-1)N}^{mN} \dot{u}((n+k)\Delta\tau) P(n\Delta\tau), \quad m=\overline{1, M}, \quad (6)$$

Далее выполняется ДПФ отсчётов  $\dot{y}_m(k\Delta\tau)$ , формирование модуля комплексного корреляционного интеграла:

$$Z(k\Delta\tau, l\Delta f) = |\dot{Y}(k\Delta\tau, l\Delta f)| \quad (7)$$

и сравнение его с заранее выбранным порогом.

Отметим, что часто для достижения необходимой чувствительности алгоритма сигнал необходи-

мо накапливать в течение интервала времени, существенно превосходящего период ПСП (1 мс).

При этом расширение интервала когерентного накопления наталкивается на определённые трудности, связанные с наличием дополнительной модуляции ПСП символами цифровой информации.

Увеличение этого интервала приводит к пропорциональному увеличению размера (2L) зоны поиска в частотной области и, значит, усложнению реализующему алгоритм быстрого поиска устройства.

Альтернативой является некогерентное накопление значений  $Z(k\Delta t, l\Delta f)$ . В этом случае размер зоны поиска в частотной области остаётся неизменным, однако отношение сигнал/шум, а, значит, и чувствительность по мере увеличения интервала некогерентного накопления нарастает медленнее.

В частности, для увеличения отношения сигнал/шум на 3 дБ необходимо либо удвоить интервал когерентного накопления, либо же в три раза увеличить интервал некогерентного накопления.

В условиях действия только тепловых шумов, технически проще установить минимально возможное время когерентного накопления, а необходимую чувствительность обеспечивать некогерентным накоплением.

Интервал когерентного накопления не может быть меньшим периода ПСП (1 мс). Как правило, его устанавливают именно таким. При этом размер зоны поиска оказывается минимально возможным, а устройство поиска навигационных сигналов – максимально простым.

### 1.1. Функциональная схема устройства

Функциональная схема такого устройства, ориентированная на его реализацию в программируемой матрице (FPGA) представлена на рис. 1.

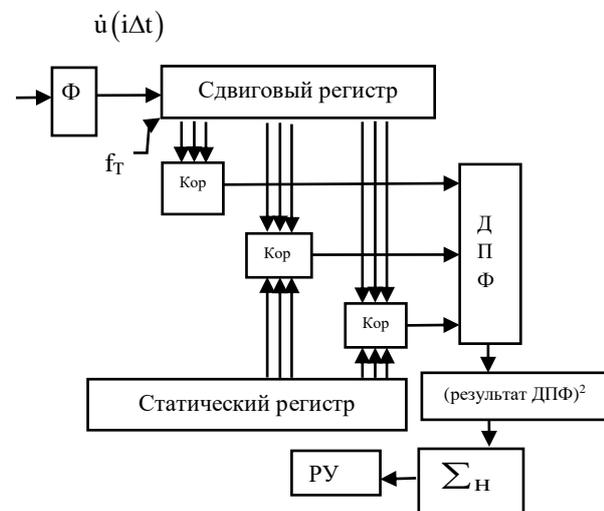


Рис. 1. Функциональная схема устройства быстрого поиска сигналов GNSS

Устройство быстрого поиска работает следующим образом. Отсчёты принимаемого колебания  $\dot{u}(i\Delta t)$  поступают с выхода фильтра  $\Phi$ , согласованного с длительностью символа принимаемой ПСП с шагом  $\Delta t$  соответствующим интервалу дискретизации выходного эффекта  $Z(k\Delta t, l\Delta f)$  по задержке и поступают в сдвиговый регистр с отводами.

Количество отводов равно  $T/\Delta t$  (минимум 1023 для сигналов GPS и 511 для сигналов ГЛОНАСС).

Статический регистр хранит опорную ПСП и имеет такое же количество отводов, как и сдвиговый регистр. Отводы каждого регистра разбиваются на  $M$  групп и в комплексных корреляторах (Кор) вычисляются интегралы свёртки (3). Далее с шагом по времени  $\Delta t$  выполняется ДПФ (2).

За время, равное интервалу  $T$  когерентного накопления, формируются отсчёты выходного эффекта для всей зоны поиска по частоте и задержке.

При этом все ячейки зоны поиска просматриваются одновременно, что эквивалентно использованию нескольких сот тысяч корреляторов, работающих параллельно.

Кроме когерентного, в устройстве быстрого поиска предусмотрено, также, и некогерентное накопление принимаемого сигнала.

Некогерентное накопление реализуется блоком  $\Sigma_N$  накопительного сумматора.

В решающем устройстве (РУ) выполняется поиск максимального значения выходного эффекта и сравнение его с некоторым порогом.

В случае превышения порога координаты максимума (грубые значения запаздывания и частоты навигационного сигнала) передаются для настройки соответствующего канала слежения за параметрами этого сигнала.

На рис. 2 представлен фрагмент выходного эффекта устройства быстрого поиска [3].

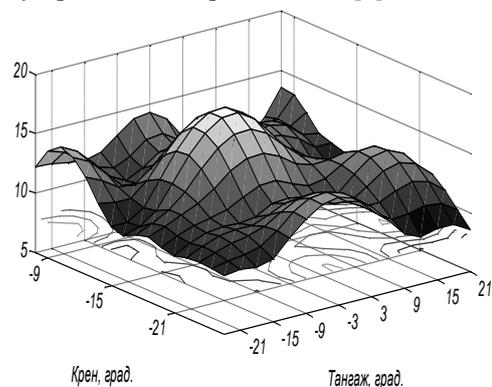


Рис. 2. Фрагмент выходного эффекта устройства быстрого поиска [3]

Пороговое отношение сигнал/шум при параллельном поиске сигнала определяется соотношением [6]:

$$\mu_{\text{пор}} = 13,5 \lg R, \quad (8)$$

где  $R = 2P(4FT)$  – размер области поиска.

В качестве примера рассмотрим устройство быстрого поиска навигационных сигналов приёмника сигналов GNSS, предназначенного для установки на низкоорбитальном космическом аппарате (КА).

Учитывая, что скорость движения КА равна примерно 7,5 км/с, диапазон неопределённости по частоте не превысит  $2F = 80 \text{кГц}$ .

Легко найти, что размер зоны поиска НС по частоте и запаздыванию для сигнала С/А системы GPS  $R = P(4FT) = 327360$ . Соответственно пороговое отношение сигнал/шум  $\mu_{\text{пор}} = 19$  дБ.

Для надёжного захвата навигационного сигнала отношение сигнал/шум на входе решающего устройства должно превышать найденную величину.

При энергетическом потенциале 40 дБГц отношение сигнал/шум на выходе когерентного накопителя составит 10 дБ и для надёжного обнаружения сигналов GPS потребуется не менее 27 циклов некогерентного накопления. Т.е. время поиска сигнала GPS предложенным алгоритмом составит 27 мс.

Отметим, время поиска навигационного сигнала типовым одноканальным устройством поиска превышает, в этом случае, 300 сек.

## Заключение

Современный этап развития GNSS характерен как развёртыванием новых систем спутниковой навигации, так и совершенствованием существующих.

Необходимость в уменьшении взаимного влияния НС различных систем, приводит к существенному (в 10 – 20 раз) увеличению длины используемых в новых НС кодов. Пропорционально возрастают и требования к устройствам поиска НС.

Существует также довольно широкий класс потребителей информации GNSS, критичных к времени получения первого навигационного отчёта после включения соответствующей аппаратуры.

В данной статье синтезирован алгоритм быстрого, параллельного поиска навигационных сигналов GNSS.

Показано, что наилучшим, с точки зрения простоты реализации, способом достижения необходимой чувствительности алгоритма является каскадирование когерентного и некогерентного накопления принимаемых сигналов.

Интервал когерентного накопления целесообразно выбирать равным длительности ПСП, а необходимая чувствительность обеспечивать за счёт последующего

некогерентного накопления выходного эффекта.

## Литература

(Пример оформления Транслитерированный список литературы обязателен)

1. Rounds, S. *Combined Parallel and Sequential Detection for Improved GPS Acquisition [Text]* / S. Rounds, C. Norman // *Proceedings of the IAIN*. – 2000. – Т. 1, № 3. – С. 163-165.

2. Eerola, V. *Rapid Parallel GPS Signal Acquisition [Text]* / V. Eerola // *Proceedings of ION GPS 2000, 19-22 September 2000*. – Salt Lake City, UT, 2000. – С. 810-816.

3. Van Nee, D. J. R. *New Fast GPS Code-Acquisition technique using FFT [Text]* / D. J. R. Van Nee, A. J. R. M. Coenen // *Electronics Letters*. – 1991. – Т. 27, No. 2. – С. 158-160.

4. Chang, C. L. *Application of Genetic Control with Adaptive Scaling Scheme to Signal Acquisition in Global Navigation Satellite System Receiver [Text]* / C. L. Chang, H. N. Shou // *Algorithms*. – 2012. – Т. 5, № 1. – С. 56-75.

5. *Fast signal acquisition technology for new GPS/Galileo receivers [Text]* / W. De Wilde, J. M. Sleewaegen, A. Simsky, J. Van Hees, C. Vandewiele, E. Peeters, J. Grauwen, F. Boon // *Proc. of IEEE/ION PLANS'06*. – San Diego, CA, USA, Apr. 2006. – С. 1074–1079.

6. Фалькович, С. Е. *Статистическая теория измерительных радиосистем [Текст]* / С. Е. Фалькович, Э. Н. Хомяков. – М. : Радио и связь, 1981. – 288 с.

## References

Используется Гарвардский стиль оформления перечня литературы (BSI).

1. Rounds, S., Norman, C. *Combined Parallel and Sequential Detection for Improved GPS Acquisition. Proceedings of the IAIN, 2000, t. 1, no. 3, pp. 163-165.*

2. Eerola, V. *Rapid Parallel GPS Signal Acquisition. Proceedings of ION GPS 2000, 19-22 September 2000, Salt Lake City, UT, 2000, pp. 810-816.*

3. Van Nee, D. J. R., Coenen, A. J. R. M. *New Fast GPS Code-Acquisition technique using FFT. Electronics Letters, 1991, t. 27, no. 2, pp. 158-160.*

4. Chang, C. L., Shou, H. N. *Application of Genetic Control with Adaptive Scaling Scheme to Signal Acquisition in Global Navigation Satellite System Receiver. Algorithms, 2012, t. 5, no. 1, pp. 56-75.*

5. De Wilde, W., Sleewaegen, J. M., Simsky, A., Van Hees, J., Vandewiele, C., Peeters, E., Grauwen, J., Boon, F. *Fast signal acquisition technology for new GPS/Galileo receivers. Proc. of IEEE/ION PLANS'06, San Diego, CA, USA, 2006, pp. 1074–1079.*

6. Fal'kovich, S. E., Khomyakov, E. N. *Statisticheskaya teoriya izmeritel'nykh radiosistem [Statistical theory of measuring radio]. Moscow, Radio and Communications Publ., 1981. 288 p*

Поступила в редакцию 12.05.2019, рассмотрена на редколлегии 00.00.2019

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., профессор кафедры проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов В. К. Волосюк, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»,

Аннотация на Украинском (русском) языке не менее 1800 знаков (без пробелов)

**АЛГОРИТМ ШВИДКОГО ПОШУКУ СИГНАЛІВ В ПРИЙМАЧАХ GNSS**

*I. В. Буняєва, О. І. Ніколенко, О. Ю. Воробйов, А. К. Михайлов*

Виконано синтез цифрового алгоритму швидкого пошуку навігаційних сигналів в приймачах GNSS. Обговорюється архітектура відповідного пристрою швидкого пошуку сигналів, а також його можливості в порівнянні з традиційними підходами. Показано, що найкращим, з точки зору простоти реалізації, способом досягнення необхідної чутливості алгоритму є каскадування когерентного і некогерентного накопичення прийнятих сигналів. При цьому технічно простіше встановити мінімально можливий час когерентного накопичення, а необхідну чутливість забезпечувати некогерентним накопиченням

.....продолжение аннотации (не менее 1800 знаков).....

**Ключеві слова:** устройство быстрого поиска; навигационный сигнал; GNSS; ДПФ.

Аннотация на английском языке не менее 1800 знаков (без пробелов)

**SIGNALS FAST ACQUISITION ALGORITHM FOR GNSS RECEIVERS**

*I. V. Bunyaeva, A. I. Nikolenko, A. J. Vorobyov, A. K. Mihailov*

The synthesis of digital algorithm for fast search of navigation signals in GNSS is accomplished. The architecture of the corresponding device for quick search of signals is discussed, as well as its capabilities in comparison with traditional approaches. It is proved, that the best method of achieving the required sensitivity of the algorithm (in view of the simplicity of implementation) is a cascade of coherent and non-coherent accumulation of the received signals. At the same time, it is technically easier to set the minimal possible time of the coherent accumulation, and the necessary sensitivity is to be achieved with the help of the non-coherent accumulation .....

.....продолжение аннотации (не менее 1800 знаков).....

**Key words:** fast acquisition engine; navigation signal; GNSS; DFT.

**Буняева Ирина Владимировна** – канд. техн. наук, доцент кафедры теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: irinabunyaeva@hotmail.com.

**Николенко Александр Иванович** – заведующий лабораторией учебно-научного центра информационных технологий, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: alex@khai.edu.

**Воробьев Александр Юрьевич** – студент 3 курса факультета ракетно-космической техники, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: Nic@khai.edu.

**Михайлов Александр Константинович** – инженер-конструктор 1 категории ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина, e-mail: miha@gmail.com.

**Bunyaeva Irina Vladimirovna** – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Theoretical Mechanics, Engineering and Robotic Systems, National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: irinabunyaeva@hotmail.com.

Orcid Athor ID: 0000-0000-0000-0000, Scopus Author ID: 00000000000, ResearcherID: M-0000-0000  
<https://scholar.google.com.ua/citations?user=0000000000000000>

**Nikolenko Aleksandr Ivanovich** – Head of the laboratory, Computer science R&D center, National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: alex@khai.edu.

Orcid Athor ID: 0000-0000-0000-0000, Scopus Author ID: 00000000000, ResearcherID: M-0000-0000  
<https://scholar.google.com.ua/citations?user=0000000000000000>

**Vorobyov Aleksandr Yurevich** – third-year student, Space-rocket engineering faculty, National Aerospace University "Kharkov Aviation Institute", Kharkov, Ukraine, e-mail: Nic@khai.edu

Orcid Athor ID: 0000-0000-0000-0000, Scopus Author ID: 00000000000, ResearcherID: M-0000-0000  
<https://scholar.google.com.ua/citations?user=0000000000000000>

**Mihailov Aleksandr Konstantinovich** – first category designer, SE "Ivchenko-Progress", Zaporozhye, Ukraine, e-mail: miha@gmail.com.

Orcid Athor ID: 0000-0000-0000-0000, Scopus Author ID: 00000000000, ResearcherID: M-0000-0000  
<https://scholar.google.com.ua/citations?user=0000000000000000>

учетная запись ORCID указывается обязательно др. идентификаторы при их наличии