

УДК 621.315.592

В. П. ОЛІЙНИК, С. М. КУЛІШ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна

ОЦІНКА ВИПРОМІНЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АПАРАТУ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ХВИЛЬОВОЇ ТЕРАПІЇ

Проведено аналіз діючих факторів електромагнітного поля, які використовуються в інформаційно-хвильових технологіях фізіотерапії на прикладі апарату «Поріг-1». Проведено розрахунок кількісних характеристик діелектричної антени, яка використовується в апаратах «Поріг-1» для випромінювання в міліметровому діапазоні хвиль. Виділені основні компоненти електромагнітного поля, які визначають його вплив на біоструктури в ближній, перехідній та хвильовій зонах дії апарату. Запропонований також фізичний механізм найнижчої за ступенем енергетичної дії широкопasmового випромінювання, який зумовлений молекулярними спектрами поглинання в радіочастотному діапазоні та їх модифікацією внаслідок явища Зеємана.

Ключові слова: електромагнітні поля, інформаційно-хвильова терапія, періодичний імпульсний іскровий розряд, діелектрична антена, міліметровий діапазон.

Вступ

Інформаційно-хвильова терапія (ІХТ) - це технологія лікування та профілактики захворювань за допомогою широко-смужового електромагнітного випромінювання наднизької інтенсивності, порівнянного з випромінюванням самих біологічних об'єктів [1]. ІХТ-технології належать до відносно нових засобів фізіотерапії. Разом з тим, поки що не відомо жодного негативного прикладу застосування ІХТ-технологій, хоча ґрунтовна наукова систематизація, узагальнення та аналітична обробка отриманих експериментальних і клінічних даних ще не завершені.

1. Біофізичні аспекти дослідження

В спектрі електромагнітного радіочастотного випромінювання високим лікувальним впливом характеризується діапазон край високих частот (КВЧ) або міліметрових хвиль. Була виявлена незвичайна ефективність дії міліметрових хвиль на функції живих організмів. Вперше взаємозв'язок між міліметровими хвилями і біологічними структурами теоретично обґрунтував Г. Фреліх (1983) [1]. Згідно його гіпотези, мембрани живих клітин мають дипольні коливання в міліметровому діапазоні частот (100...1000 ГГц). Відомо, що енергія кванта міліметрових хвиль ($\lambda = 1...10$ мм, $\nu=30...300$ ГГц) менше енергії електронних переходів, але спроможна активувати коливання молекул та впливати на їх слабкі хімічні зв'язки.

Про аналогічні механізми дії випромінювання КВЧ на клітинні структури свідчать дослідження

ряду наукових груп України, Росії, Канади, Німеччини та інших країн [1, 2]. В цих роботах зазначено, що механізм впливу електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону на клітини пов'язаний з резонансним перетворенням електромагнітної енергії в мембранах клітин в енергію акустоелектричних хвиль. Але клітина одночасно є надскладною молекулярною структурою в якій можливі додаткові механізми впливу випромінювання КВЧ.

Також в сучасній фізіотерапії поширені апаратні засоби електролікування з частотними характеристиками впливу складових електромагнітного поля в діапазоні від часток до десятків Гц. Сюди можна віднести апарати ампліпульстерапії, магніто-терапії, електропунктури та ряд інших. Динаміка електричних струмів, магнітного та електричного полів в цих апаратах направлена на стимуляцію фізіологічних процесів у всьому організмі.

Використання широкопasmового електромагнітного випромінювання принципово дозволяє створити одночасний вплив як на клітинному та молекулярному рівнях, так і на рівні структур всього організму. Відповідність технічних засобів ІХТ зазначеним можливостям розглянемо нижче.

2. Апаратне забезпечення

Для методу ІХТ принципово важливими є низька енергія випромінювання, широка смуга частот, залежність спектральної щільності потужності від частоти і наявність дискретних смуг, близьких по спектру до частот біоритмів різних фрактальні властивості [2, 3].

Незалежно від конкретного способу генерування електричних коливань, виникає проблема їх трансформації в електромагнітне випромінювання з необхідними просторовими параметрами. Необхідно ще враховувати і специфіку використання цього методу в біології та медицині, а саме безпосередню близькість випромінювача до області дії і навіть, його контакт, з біотканинами. Тому необхідність забезпечення гальванічної ізоляції апаратних засобів від біооб'єкту визначила доцільність застосування діелектричних випромінювачів.

Однією з технічних реалізацій методу інформаційно-хвильової терапії є розроблений і впроваджений у медичну практику М. Д. Колбуном апарат «Поріг-1» [1].

Ширококугловий генератор електромагнітних коливань цього пристрою використовує імпульсний газовий розряд між електродами, у циліндричній порожнині частини діелектричної антени міліметрового діапазону (рис. 1).

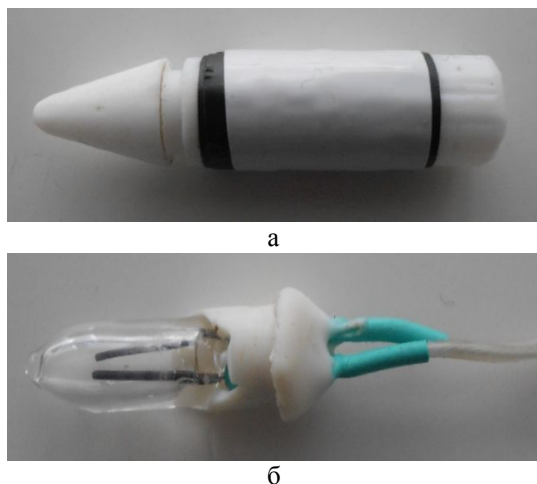


Рис. 1. Устрій діелектричної антени:
а – випромінююча частина, б – розрядник

Частоту проходження розрядних імпульсів задає тактовий генератор, тривалість активної частини розряду визначає формувач імпульсів, амплітуда напруги, яка необхідна для електричного пробую в розрядному проміжку досягається застосуванням імпульсного трансформатора.

Згенерований спектр електромагнітних коливань містить лінійчату (детерміновану) і безперервну (шумову) компоненти. Нижня частота коливань визначається частотою проходження імпульсів (20...50 Гц), верхня - смугою ефективного випромінювання діелектричної антени [3,4]. Енергія в межах спектру розподілена за законом $\sim 1/f_n$ ($n = 1 \dots 3$), де f - частоти спектральних складових. Такий розподіл характерний для власного теплового випромінювання біооб'єктів. Розрахункове значення

спектральної щільності потужності випромінювання на біологічно ефективних частотах 60 ... 70 ГГц знаходиться в межах $10^{-25} \dots 10^{-19}$ Вт/(см²·Гц) [2].

Однак апаратна перевірка зазначених параметрів низькоінтенсивного випромінювання обмежена відсутністю чутливих вимірювальних приладів діапазону КВЧ. Тому було запропоновано для аналізу енергетичних і спектральних характеристик сформованого КВЧ випромінювання дати оцінку характеристик антенного пристрою апарату «Поріг-1».

3. Антенний пристрій

В якості об'єкту дослідження був узятий реальний зразок випромінюючої частини апарату «Поріг-1». У цьому приладі застосований не класичний спосіб живлення антени за допомогою хвилеводу, а використаний періодичний імпульсний іскровий розряд для збудження всіх компонент електромагнітного поля, які відносяться до діючих на живий організм факторів.

Система електродів, між якими відбувається імпульсний іскровий пробій в повітрі, знаходиться в циліндричній порожнині діелектричного стрижня з полістиролу. Суцільна частина стрижня (що спрямована на біооб'єкт або контактує з ним) має форму конуса і може бути віднесена до діелектричних антен біжучої хвилі.

Був проведений розрахунок характеристик випромінювання в хвильовій зоні за відомими методиками для діелектричних антен біжучої хвилі [3] і геометричними розмірами випромінювача конкретного екземпляру апарату.

Загальна довжина стрижня $l=36,5$ мм; довжина конусоподібної частини $l_k=13$ мм; максимальний діаметр $d_{\max} = 9$ мм; мінімальний – $d_{\min} = 2$ мм. Матеріал – полістерол, відносна діелектрична проникливість $\epsilon = 2,5$. У відповідності до цих даних довжина хвиль ефективного випромінювання:

$$\lambda_{\max} = d_{\max} (\pi(\epsilon - 1))^{1/2} = 19,53 \text{ мм};$$

$$\lambda_{\min} = d_{\min} (2,5\pi(\epsilon - 1))^{1/2} = 6,86 \text{ мм},$$

тоді, відповідний робочий діапазон частот становить 15,36...43,73 ГГц.

Діаграми спрямованості в площинах Е і Н розраховані для середньої довжини хвилі $\lambda_{cp} = 13,195$ мм (23,08 ГГц) приведені на рис. 2. Ширина діаграм становить $\sim 68^\circ$. Отримані характеристики в основному характерні для даного типу антен. Однак розрахункове значення смуги частот випромінювання істотно відрізняється від біологічно значущого інтервалу 60 ... 70 ГГц.

На рис. 3 показані діаграми спрямованості для цієї ж антени, але для довжини хвилі $\lambda = 4,61$ мм (65 ГГц). Закономірно вважати, що невідповідність розмірів знижує коефіцієнт корисної дії діелектричної

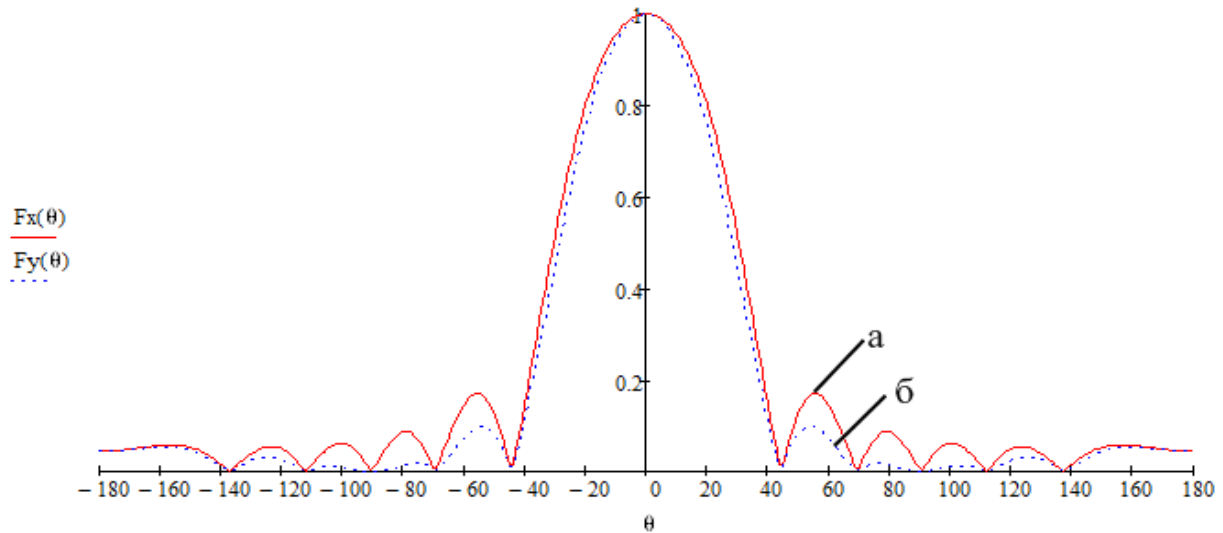


Рис. 2. Діаграми спрямованості діелектричної антени: а – площина Н, б – площина Е

антени, але форма діаграми спрямованості в основному зберігається (дещо звужується до $\sim 47^\circ$ ширина головної пелюстки).

4. Зони чинних електромагнітних факторів

Задача формування електромагнітних коливань в широкій смузі частот вимагає розгляду механізмів випромінювання на низьких частотах, де вище розглянутий антенний пристрій втрачає свої функції. Тому, дамо якісну оцінку чинним електромагнітним факторам для розглянутого випромінювального пристрою. Нехай λ - довжина хвилі відповідного електромагнітного процесу в розряді, а l - відстань до біологічного об'єкту, тоді при $\lambda \ll l$, область

впливу знаходиться хвильовій зоні. Така умова справедлива для діапазону частот 30 - 100 ГГц коли $l=3.5$ см. Фізичні механізми впливу випромінювання в цьому діапазоні частот визначаються: глибиною проникнення випромінювання в біотканини (що пов'язано з процесами поглинання електромагнітного випромінювання біоструктурами), явищем укорочення довжини хвилі в біотканинах, інтерференційними явищами, резонансним поглинанням молекулярних і клітинних структур.

Локалізація дії визначатиметься діаграмою спрямованості антени випромінювача. Ефективний спектр частот випромінювання, також буде характеризуватися виборчими властивостями застосованої антени [3].

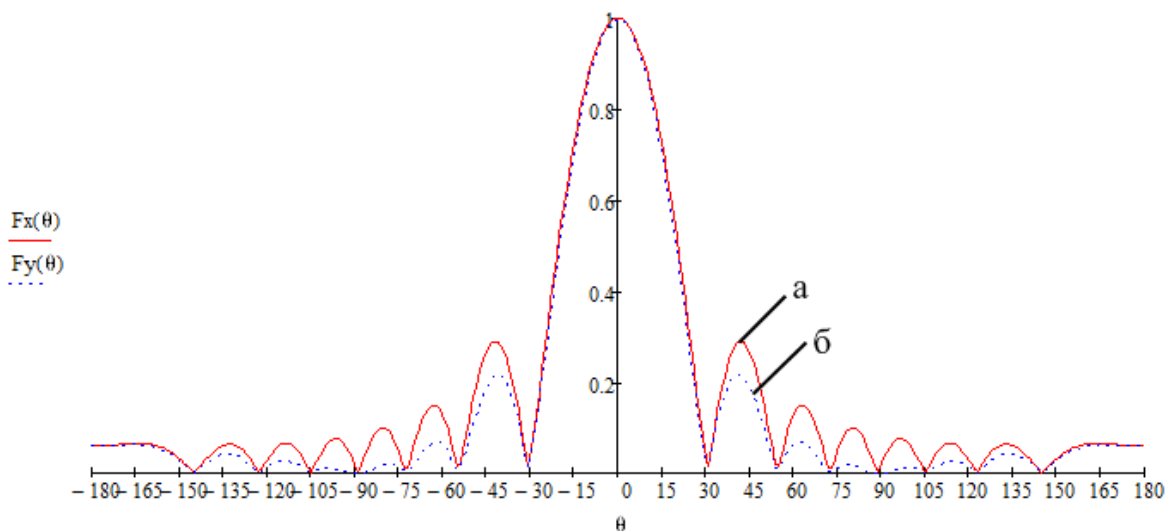


Рис. 3. Діаграми спрямованості діелектричної антени апарату «Поріг-1» в діапазоні біологічно ефективних частот випромінювання: а – площина Н, б – площина Е

Потребує також оцінки робота подібного випромінювача в ближній зоні взаємодії з біооб'єктом. Якщо довжина хвилі $\lambda \gg l$, хвильовий процес відсутній. Таким чином при відстанях $l = 1 \dots 10$ см для частот від одиниць -десятків герців до 300 МГц ($\lambda = 1$ м, $\lambda \gg l$) механізм впливу на біоструктури пов'язаний переважно з компонентами напруженості електричного поля E і в деякій мірі магнітного поля H створюваного струмом іскрового розряду. Домінуючим діючим фактором впливу в даному випадку будуть струми зміщення, що замикають електричне коло внаслідок ємнісних властивостей біотканин.

У випадку, коли $\lambda \approx l$, область впливу знаходиться в перехідній зоні, де можуть бути одночасно значущими фізичні механізми, розглянуті для випадків $\lambda \gg l$ і $\lambda \ll l$. Перевага того чи іншого механізму буде істотно залежати від конкретного значення параметра l .

Розглядаючи інформаційну (нетеплову) дію низькоінтенсивного електромагнітного поля неможливо пояснити біологічні прояви без залучення квантового механізму передачі енергії випромінювання біоструктурам. Найбільш адекватною квантовою системою органічних речовин є молекула. Квантові переходи молекул з одного енергетичного рівня на інший характеризують спектри частот випромінювання і поглинання. Складність біомолекулярних спектрів порівняно з атомними зумовлена великою кількістю ступенів свободи, і отже, енергетичних переходів в молекулі.

Найбільш близькі до діапазону радіохвиль обертальні молекулярні спектри, вони спостерігаються в далекій інфрачервоній області і особливо в мікрохвильовому і НВЧ діапазонах.

Певний вплив на параметри молекулярних спектрів радіохвиль надають статичні і квазістатичні магнітні та електричні поля. Особливо слід виділити дію зовнішнього квазістатичного магнітного поля, яке вільно проникає в біосередовище внаслідок того, що відносна магнітна проникність біотканин $\mu \approx 1$. Дія магнітного поля викликає появу нових дозволених енергетичних станів квантової системи, що приводить до розщеплення первинних і виникненню нових спектральних ліній внаслідок явища Зеємана [1].

Істотно зовнішнє магнітне поле впливає на електронні спектри парамагнетиків, що мають на зовнішній електронній оболонці неспарені електрони.

Резонансне поглинання електромагнітного випромінювання парамагнетиками отримало назву електронного парамагнітного резонансу (ЕПР). Мінімальна частота ЕПР відповідає умові:

$$f_{\text{ЕПР}} = (g\mu_B V)/h,$$

де g - множник Ланде, μ_B - магнетон Бора, V - індукція зовнішнього магнітного поля, h - стала Планка. При величинах $V = 0,003 \dots 0,03$ Тл, що створюються різними електронними апаратами (в тому числі і побутовою радіоелектронікою) частота ЕПР лежить в інтервалі 100 ... 1000 МГц, що належить до спектру випромінювання апарату «Поріг-1». З огляду на то, що парамагнітні властивості мають вільні радикали, які визначають інтенсивність біохімічних процесів, можна вважати, що ЕПР є одним із факторів інформаційного впливу електромагнітного поля на біооб'єкти.

Аналогічно ЕПР, в присутності зовнішнього магнітного поля та електромагнітного випромінювання виникає ядерний магнітний резонанс (ЯМР). Резонансна частота для ядер атомів визначається виразом:

$$f_{\text{ЯМР}} = (g_{\text{я}}\mu_{\text{я}}(1 - \kappa)V)/h,$$

де $g_{\text{я}}$ - ядерний множник Ланде, $\mu_{\text{я}}$ - ядерний магнетон речовини, κ - постійна екранування (залежить від електронного оточення ядер). При тих же, зазначених вище, величинах індукції магнітного поля частота ЯМР лежить в інтервалі від одиниць до десятків МГц. Одним з різновидів ЯМР є протонний ядерний магнітний резонанс на ядрах водню. З огляду на то, що біотканини містять багато води, а отже і водню, перш за все протонний ЯМР також можна розглядати одним з факторів інформаційного впливу електромагнітного поля на біооб'єкти.

Висновки

Апарат інформаційно-хвильової терапії «Поріг-1» забезпечує вплив випромінювання на біоструктури в надширокій смузі частот електромагнітних коливань, завдяки застосуванню імпульсного періодичного газового розряду.

На низьких частотах фізичні механізми впливу суттєво не залежать від робочої відстані ($l=0.5$ см) до біоструктури. Найнижча частота визначається частотою повторення розрядних струмів.

В діапазоні міліметрових хвиль (КВЧ) ефективність дії апарату «Поріг-1» визначається характеристиками діелектричної антени, способом збудження коливань, показниками хвильової зони.

Явища ЕПР і ЯМР, можливо, можна вважати найнижчим рівнем інформаційного впливу електромагнітного випромінювання на біооб'єкти.

Література

1. *Физическая модель биологической системы в информационно-волновом взаимодействии с электромагнитными полями [Текст] / Н. Д. Колбун, С. Н. Кулиш, В. П. Олейник, В. В. Литвин // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2009. – №2 (36). – С. 148-154.*

2. Litvin, V. V. *Wideband Electromagnetic Superlow-Intensity EHF Radiation Characteristics for Information-Wave Technologies [Text]* / V. V. Litvin, S. N. Kulish, V. P. Oleinik // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2015. – Vol. 74, No. 4. – P. 355-372.

3. *Моделирование параметров излучателя на несимметричных волнах в круглом диэлектрическом волноводе [Текст]* / В. В. Литвин, Н. Д. Колбун, С. Н. Кулиш, В. П. Олейник, Аль Отти Сами // *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. – 2009. – № 1 (35). – С. 23- 35.

References

1. Kolbun, N. D., Kulish, S. N., Olejnik, V. P., Litvin, V. V. *Fizicheskaja model' biologicheskoi sistemy v informacionno-volnovom vzaimodejstvii s jelektromagnit-*

nymi poljami [The physical model of the biological system of information-wave interaction with elec-tromagnetic fields]. *Radiojelektromnye i komp'juternye sistemy*, 2009, no. 2 (36), pp. 148-154.

2. Litvin, V. V., Kulish, S. N., Oleinik, V. P. *Wideband Electromagnetic Superlow-Intensity EHF Radiation Characteristics for Information-Wave Technologies*, *Telecommunications and Radio Engineering*, 2015, vol. 74, no. 4, pp. 355-372.

3. Litvin, V. V., Kolbun, N. D., Kulish, S. N., Oleinik, V. P., Sami, Al' Otii. *Modelirovanie parametrov izluchatelja na nesimmetrichnyh volnah v kruglom dijelektricheskom volnovode* [Simulation of transmitter parameters are unbalanced waves in a circular dielectric waveguide]. *Radiojelektromnye i komp'juternye sistemy*, 2009, no.1 (35), pp. 23-35.

Поступила в редакцию 12.02.2016, рассмотрена на редколлегии 14.04.2016

ОЦЕНКА ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ АППАРАТА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВОЛНОВОЙ ТЕРАПИИ

В. П. Олейник, С. Н. Кулиш

Проведен анализ действующих факторов электромагнитного поля, которые используются в информационно-волновых технологиях физиотерапии на примере аппарата «Porig-1». Проведен расчет количественных характеристик диэлектрической антенны, которая используется в аппарате «Porig-1» для излучения в миллиметровом диапазоне волн. Выделены основные компоненты электромагнитного поля, которые определяют его влияние на биоструктуры в ближней, переходной и волновой зонах действия аппарата. Предложен, также, физический механизм действия на низшем энергетическом уровне широкополосного излучения, обусловленный молекулярными спектрами поглощения в радиочастотном диапазоне и их модификацией вследствие явления Зеемана.

Ключевые слова: электромагнитные поля, информационно-волновая терапия, периодический импульсный искровой разряд, диэлектрическая антенна, миллиметровый диапазон.

ESTIMATION OF RADIATIVE PROPERTIES OF APPARATUS FOR INFORMATION-WAVE THERAPY

V. P. Oliynyk, S. N. Kulish

The analysis of the existing electromagnetic field factors, which are used in the information wave technology in physiotherapy on the bases of "Porig-1" device. The calculation of quantitative characteristics of the dielectric antenna. This antenna particularly used in the device "Porig-1" for the radiation in the millimeter wave range. The basic components of the electromagnetic field are also defined. These components are in turn responsible for the field's impact on the biostructures in near, transition and wave zones of action apparatus. A, also, proposed the physical mechanism of action at the lowest energy level of broadband electromagnetic radiation, due to molecular absorption spectra of radio waves and their modification due to the Zeeman effects.

Key words: electromagnetic fields, information-wave therapy, periodic pulsed spark discharge, dielectric antenna millimeter range.

Олійник Володимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри виробництва радіоелектронних систем літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: oliynyk@xai.edu.ua.

Куліш Сергій Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри виробництва радіоелектронних систем літальних апаратів Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: rtsla@ai.kharkov.com.

Olijnyk Volodymyr Petrovych – Candidate of Technical Science, Professor of Dept. of Production of Aircraft Radioelectronic Systems, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: oliynyk@xai.edu.ua.

Kulish Sergij Mykolajovych – Candidate of Technical Science, Assistant Professor of Dept. of Production of Aircraft Radioelectronic Systems, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: rtsla@ai.kharkov.com.