

УДК 621.372.852:612.014

Гуцол Т.Д.

к.т.н., доцент

Инженерно-технический факультет

Подольский государственный аграрно-технический университет

Каменец-Подольский, Украина

E-mail: pro-gp@datu.edu.ua

## СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ КРОВОТОКА ЖИВОТНЫХ С ЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

### Аннотация

Работа посвящена изучению связи радиотеплового излучения организма животного с параметрами его кровотока. Целью статьи было обоснование связи параметров кровотока животных с радиотепловым излучением их органов.

В работе исследуется динамика движения крови в нестационарном режиме. Исследование основывается на закономерностях движения ньютоновской жидкости по сосудах цилиндрической формы. Такое движение может быть описано с помощью уравнения Навье-Стокса, после преобразования которого для определенных условий проведен расчет для линейной скорости кровотока –  $v_z$  и расхода крови –  $q$ . Полученные результаты дают возможность убедиться в том, что изменение радиуса сосуда существенно влияет на зависимость расхода крови при различных давлениях.

Результатом исследования является полученное уравнение, связывающее продольную скорость течения крови в сосудах с их геометрическими размерами и пульсацией давления. Проведенный анализ показал прямую связь излучаемого кровотоком электромагнитного поля и возможных нарушений режима работы сердечно-сосудистой системы животных. Изучена зависимость плотности потока мощности излучения от радиуса сосудов для различных давлений в кровотоке. Результаты расчетов показывают, что величина излучаемой мощности лежит в диапазоне  $10^{-16}$  -  $10^{-15}$  Вт, при этом она растет с увеличением радиуса сосудов. Следовательно, излучение крупных сосудов можно контролировать менее чувствительными приемными устройствами. Изменение давления в кровеносной системе может изменять величину излучаемой мощности в 1,5 – 2 раза.

В результате исследований сделан вывод, что для оценки воздействия на кровоток животных электромагнитного поля, создаваемого соседними сосудами, необходимо использовать полученные уравнения движения кровотока в нестационарном режиме с определением скорости кровотока и вероятности столкновения эритроцитов.

Для определения нарушения режима работы сердечнососудистой системы животных необходимо использовать показания радиотеплового излучения органов животных, которое связано с продольной составляющей скорости и объёмным расходом крови.

**Ключевые слова:** кровоток, продольная скорость, радиотепловое излучение, пульсации давления, скважность, расход крови.

**Введение.** Вокруг любого биологического объекта в процессе его жизнедеятельности возникает сложная картина физических полей. Их распределение в пространстве и изменение во времени несут важную биологическую информацию, которую можно использовать, в частности, в целях ветеринарной и медицинской диагностики [1, 2]. Так как физиологическая активация внутренних органов животных, связанная, в том числе, и с патологическими процессами в них, сопровождается увеличением их теплопродукции и притоком к ним крови, то это можно регистрировать по данным радиотеплового картирования [3]. Все сказанное выше и определяет то обстоятельство, что кровь должна быть одним из основных объектов исследования при оценке состояния организма животного, а также при исследовании излучений электромагнитных полей его организмом [4].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Характеристики крови и кровеносной системы в целом определяют полноценность функционирования различных систем организма животного. С кровью связано осуществление таких жизненно важных функций, как дыхание, обмен веществ, защита целостности самого кровеносного русла, терморегуляция организма, сопротивление заболеваниям и так далее [1, 2]. Любые изменения факторов внутренней и внешней среды организма, в том числе и любые заболевания, немедленно сказываются на параметрах крови и кровеносной системы [5, 6]. В связи с этим данной проблеме посвящено значительное число исследований [7 - 10]. Однако существенным недостатком, на наш взгляд, является то, что здесь и в других работах получены результаты для стационарной задачи, то есть для кровотока, характерные параметры которого не зависят от времени. В частности, они не применимы для оценки явлений, связанных с воздействием на кровоток случайных факторов, связанных с состоянием организма или какими-то внешними воздействиями любого характера, а, следовательно, для дистанционного динамического контроля температуры внутренних органов животных [9, 10]. Решение данной проблемы позволит связать характер кровотока в сосудах, температуру различных органов животного и их электромагнитное излучение, которое можно измерять с помощью специально созданных с этой целью приборов и систем [11].

**Цель.** Обосновать связь параметров кровотока животных с радиотепловым излучением их органов.

**Методология исследований.** В связи с вышеуказанным обстоятельством, в работе исследуется динамика движения крови в нестационарном режиме. Движение ньютоновской жидкости может быть описано с помощью уравнения Навье-Стокса [1, 5, 6, 12]:

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla P + \eta \Delta \vec{v}, \quad (1)$$

где  $\nabla P = \text{grad } P$ ;

$\vec{v}$  - скорость крови;

$P$  - приложенное к входу давление;

$\rho$  - плотность крови;  $\eta$  - вязкость крови.

Поскольку рассматривается течение крови по сосудам, имеющим форму цилиндра, уравнение (1) представлено в цилиндрических координатах и его решение поведено с учетом уравнения неразрывности:

$$\left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r v_r + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] \rho + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

Учитывая вышесказанное, решение для продольной составляющей скорости крови  $v_z$ , полученное из (1) с учетом (2), имеет вид:

$$v_z = \frac{2\Delta P_0}{\rho L} \frac{J_0 \alpha_1^0 r}{\mu_1^0 J_1 \mu_1^0} \left\{ \frac{\theta}{v \alpha_1^0} + \dots \right.$$

$$+ \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^3 \frac{\sin k \pi \theta}{k} \frac{\frac{1}{kl} \sin klt + \left(\frac{1}{kl}\right)^2 \nu \alpha_1^0 \cos klt}{1 + \left[\frac{\nu \alpha_1^0}{kl}\right]^2} \quad (3)$$

где  $\theta$  - величина, обратная скважности следования импульсов перепада давления;

$$l = \frac{2\pi}{t_1}; \quad t_1 - \text{период импульсов пульсации крови};$$

$r$  - поперечная координата в сечении сосуда;

$\Delta P_0$  - амплитуда импульса давления крови;

$L$  - длина сосуда;  $J_0$  - функция Бесселя первого рода;

$$\frac{\mu_1^0}{R} = \alpha_1^0; \quad \mu_1^0 - \text{первый корень функции Бесселя}; \quad R - \text{радиус сосуда.}$$

Анализ выражения для скорости  $v_z$  дает возможность связать значение этой величины с величиной диаметра сосуда. Так, в сосудах с малым сечением колебания скорости будут определяться слагаемым, содержащим множитель  $\cos klt$ , а в сосудах с большим поперечным сечением, соответственно, с множителем  $\sin klt$ . Полученное выражение для скорости кровотока (3) дает возможность рассчитать важные физиологические параметры кровотока в нестационарном режиме.

**Результаты.** В интересах решения общей задачи выполнен расчет для линейной скорости кровотока -  $v_z$  и расхода крови -  $q$ .

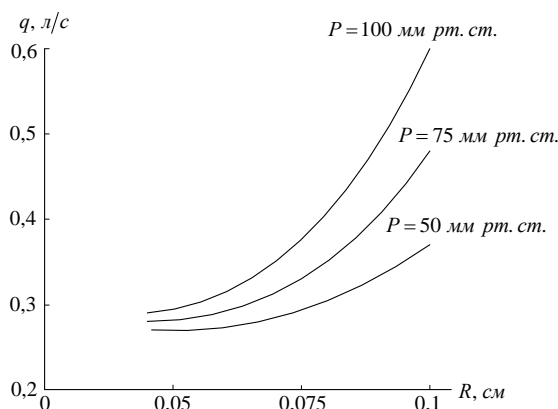
Расчет выполнен с использованием выражения для  $v_z$  (3) и выражения для определения расхода крови [5]:

$$q = \rho \int_0^R 2\pi r v_z(r, t) dr \quad (4)$$

Проанализируем результаты расчетов, проведенных для крупного рогатого скота и представленных графиками на рис. 1, 2.

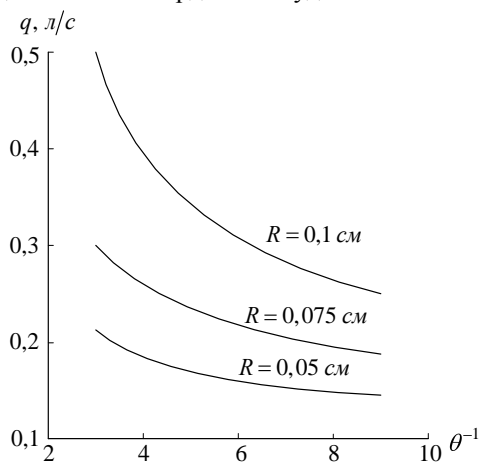
На рис. 1 представлена зависимость расхода крови от радиуса сосуда при различных давлениях на различных участках кровеносной системы  $P$ .

Полученные результаты дают возможность убедиться в том, что изменение радиуса сосуда существенно влияет на зависимость расхода крови при различных давлениях. Так, например, при  $R = 0,05$  см различие в расходе крови менее выражено, чем при  $R = 0,1$  см.



**Рис. 1. Зависимость расхода крови от радиуса сосуда при скважности пульсаций  $\theta^{-1} = 5$  и различных давлениях**

Это, безусловно, проявится еще более существенно при оценке влияния различных патологий на микроциркуляцию или кровоток в магистральных сосудах. Если же говорить о зависимости расхода крови от скважности пульсации входного давления (рис. 2), то она может являться показателем негативных процессов, имеющих место в случае появления патологий в деятельности сердечнососудистой системы животного.



**Рис. 2. Зависимость расхода крови от скважности пульсаций входного давления для различных радиусов сосудов**

По мере увеличения скважности от трех единиц до нормальных 5-6, расход крови доходит до обычных величин для каждого из сечений сосудов, а затем начинает падать с ростом скважности, что может привести к проблемам в состоянии организма животного.

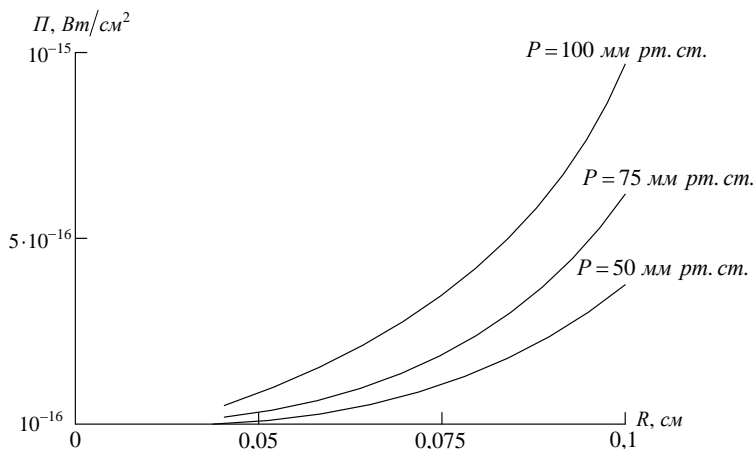
Используя приведенное в [5] уравнение (5):

$$\begin{aligned}
 \Pi = \frac{dl^2 Q^2 n^2 P_0^2 Z_s}{2L^2 R^2 \lambda^2 \rho^2 l^2 \mu_1^0 J_1^2 \mu_4^0} & \left[ \frac{\theta}{\alpha_1^0{}^2 \nu} + \frac{2 \alpha_1^0{}^2 \nu \cos lt \sin \pi \theta}{\pi (l^2 + \alpha_1^0{}^4 \nu^2)} + \right. \\
 & \left. + \frac{2 \alpha_1^0{}^2 \nu \cos 2lt \sin 2\pi \theta}{2\pi (4l^2 + \alpha_1^0{}^4 \nu^2)} + \frac{2 \alpha_1^0{}^2 \nu \cos 3lt \sin 3\pi \theta}{3\pi (9l^2 + \alpha_1^0{}^4 \nu^2)} \right] \sin^2 \varphi. \quad (5)
 \end{aligned}$$

можно рассчитать мощность электромагнитного излучения кровеносных сосудов при отклонениях кровотока различного типа от нормы (воспалительные процессы, нарушение пульсаций, сужение сосудов и т.д.). Результаты расчетов приведены на рис. 3 - 6 для частоты излучаемого электромагнитного поля равной 37 ГГц.

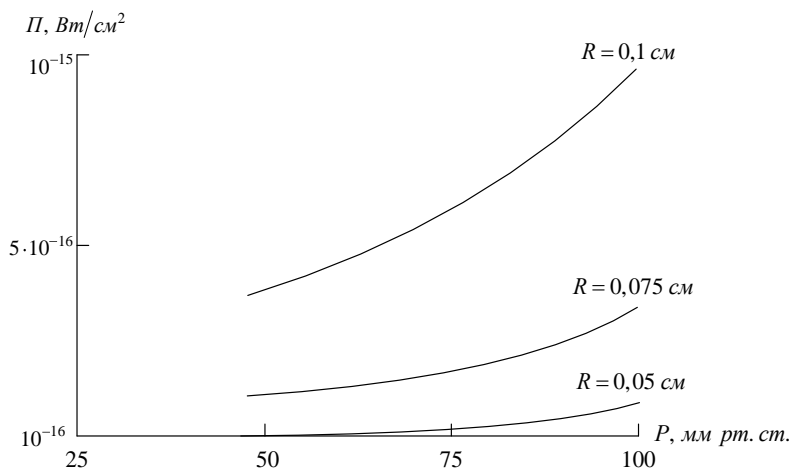
Зависимость плотности потока мощности излучения от радиуса сосудов для различных давлений в кровотоке изображена на рис. 3, скажность пульсаций взята равной  $\theta^{-1} = 5$ .

Результаты расчетов показывают, что величина излучаемой мощности лежит в диапазоне  $10^{-16}$  -  $10^{-15}$  Вт, при этом она растет с увеличением радиуса сосудов. Следовательно, излучение крупных сосудов можно контролировать менее чувствительными приемными устройствами. Изменение давления в кровеносной системе может изменять величину излучаемой мощности в 1,5 - 2 раза. Это говорит о возможности контроля над эмоциональным состоянием животного и состоянием его сосудов.



**Рис. 3. Зависимость излучаемой мощности от радиусов сосудов для различных входных давлений**

На рис. 4 представлена зависимость излучаемой кровеносными сосудами мощности от входного давления при различных их радиусах. Из графика следует, что при среднем давлении у коров 50 мм рт. ст. излучение средних по диаметру сосудов лежит в районе  $10^{-16}$  Вт/см<sup>2</sup>. Очевидно, что излучение капилляров будет находиться в диапазоне  $10^{-18}$  -  $10^{-17}$  Вт/см<sup>2</sup>.



**Рис. 4. Зависимость излучаемой мощности от входного давления для различных радиусов сосудов**

Приведенные графики показывают связь между мощностью излучения кровеносных сосудов и изменением их геометрических размеров, а также состоянием кровеносной системы. Данный результат позволяет сделать вывод о том, что любые отклонения от нормы в организме животного можно зафиксировать с помощью, снятой радиотермограммы.

**Выводы и перспективы.** 1. Для оценки воздействия на кровотоки животных электромагнитного поля, создаваемого соседними сосудами, необходимо использовать полученные уравнения движения кровотока в нестационарном режиме с определением скорости кровотока и вероятности столкновения эритроцитов.

2. Для определения нарушения режима работы сердечнососудистой системы животных необходимо использовать показания радиотеплового излучения органов животных, которое связано с продольной составляющей скорости и объёмным расходом крови.

#### Список использованных источников

1. Гуцол Т. Д. Моделирование электромагнитных полей в организме животного при его термографировании. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". Сер.: Механіко-технологічні системи та комплекси*. Харків : НТУ "ХПІ". 2017 р. № 44 (1266). С. 43–47.
2. Гуцол Т. Д. Теоретический анализ кровотока животных при наличии пульсаций давления. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Сер.: Механіко-технологічні системи та комплекси*. Харків : НТУ "ХПІ". 2017р. № 33 (1255). С. 112–116.
3. Черенков А. Д., Косулина Н. Г., Пиротти Е. Л. Определение интенсивности электромагнитного излучения животных в зависимости от скорости движения кровотока. *Вісник Харківського державного політехнічного університету*. 1999. С. 20–22.
4. Cherenkov Aleksandr D., Kosulina Natalija G. and Sapruca Aleksandr V. Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals. *Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. November – December. 2015. RJPBCS 6(6). P. 1686–1694.
5. Педли Т. Гидродинамика крупных кровеносных сосудов ; Пер. с англ. Москва : Мир, 1983. 400 с.
6. Каро К., Педли Т. Механика кровообращения. Москва : Мир, 1981. 624 с.
7. Appelblat A., Katzir-Katchalsky A. Steady laminar flow through a blood vessel. *Biorheology*.

1974. No. 11. P. 55 – 67.

8. Dennis S. C., Dual solutions for steady laminar flow through a curved tube. *Quart. J. Mech. And Appl. Math.* 1982. Vol. 35. No. 3. P. 305 – 324.

9. Hillen B., Gaasbeek T., Hoogstraten H. A mathematical model of the flow in the posterior communicating arteries. *J. Biomech.* 1982. Vol. 15. No. 6. P. 441–448.

10. Yearwood T. L., Chandran K. B. Experimental investigation of steady flow through a model of the human aortic arch. *J. Biomech.* 1980. Vol. 123. No. 10. P. 1075–1088.

11. Skou Niels. Microwave radiometer systems: Design and analysis. Boston London : Artech House. 1989. 162 p.

12. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкостей ; пер. с англ. Москва : Мир. 1973. 760 с.

*Дата надходження статті до редакції : 16.03.2018  
Рецензування 16.04.2018 Прийняття в друк: 31.05.2018*

**Гуцол Т.Д.**

*к.т.н., доцент*

*Інженерно технічний факультет*

*Подільський державний аграрно-технічний університет*

*Кам'янець-Подільський, Україна*

*E-mail: pro-gp@datu.edu.ua*

## **ЗВ'ЯЗОК ПАРАМЕТРІВ КРОВОТОКУ ТВАРИН З ЙОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ**

### **Анотація**

*Дослідження присвячене вивченню зв'язку радіотеплового випромінювання організму тварини з параметрами його кровотоку. Метою статті було обґрунтування зв'язку параметрів кровотоку тварин та радіотеплового випромінювання їх органів.*

*В роботі досліджується динаміка руху крові в нестационарному режимі. Дослідження ґрунтується на закономірностях руху ньютонівської рідини по судинах циліндричної форми. Такий рух може бути описано за допомогою рівняння Нав'є-Стокса, після перетворення якого для певних умов проведено розрахунок для лінійної швидкості кровотоку -  $v_z$  і витрати крові -  $q$ .*

*Результатом дослідження є отриманий вираз, що зв'язує поздовжню швидкість течії крові в судинах з їх геометричними розмірами і пульсацією тиску. Проведений аналіз показав прямий зв'язок випромінюваного кровотоком електромагнітного поля і можливих порушень режиму роботи серцево-судинної системи тварин.*

*Ключові слова: течія крові, поздовжня швидкість, радіотеплове випромінювання, пульсації тиску, шпаруватість, витрата крові.*

**Hutsol T.D.**

*PhD in Engineering, Assoc. Professor*

*Engineering Faculty*

*State Agrarian and Engineering University in Podilya*

*Kamianets-Podilskyi*

*E-mail: pro-gp@datu.edu.ua*

## **THE LINK BETWEEN ANIMAL BLOOD FLOW PARAMETERS AND ITS ELECTROMAGNETIC RADIATION**

**Abstract**

The work is devoted to the study of the link between the radio thermal radiation of an animal's organism and the blood flow parameters. The aim of the research was to substantiate the connection between the parameters of the animals blood flow and the radio thermal radiation of their organs.

The paper investigates the dynamics of blood flow in non-stationary mode. The research is based on the laws of the Newtonian fluid motion in cylindrical vessels. Such motion can be described by using the Navier-Stokes equation, after the transformation of which the calculation was carried for the linear velocity of blood flow -  $v_z$  and volumetric blood flow rate -  $q$  for certain conditions. The results provide an opportunity to see the change of the vessel radius, thus affecting substantially the dependence of the blood flow at different pressure levels.

The dependence of the radiation power flux density of the vessel radius for different pressure levels in blood flow was studied. The calculation data show that the radiated power magnitude lies in a range of Watt (W) and, in so doing, it is increasing along with the vessel radius. Therefore, the great vessel radiation can be controlled by the means of the less delicate receivers. The pressure change in the blood-vascular system can modify the radiated power magnitude in 1.5-2 times.

The result of the research is obtained equation that relates the longitudinal velocity of blood flow in vessels with their geometric dimensions and pressure pulsation. The analysis showed a direct relationship between the electromagnetic field radiated by the blood stream and possible violations of the mode of operation of the cardiovascular system of animals, it also found that for the electromagnetic field impact assessment created by the closest vessels on the animals blood flow, it is important to use the equations of the blood flow dynamics in non-stationary mode with the definition of the blood flow velocity and probability of the erythrocyte collision.

To define the dysfunction in the work of animals cardiovascular system, it is necessary to use the readings of the thermal radiation of animals organs, which is related to the longitudinal velocity component and volumetric blood flow rate.

**Keywords:** blood flow, longitudinal velocity, radiothermal radiation, pressure pulsations, duty cycle, blood flow.

**References**

1. Hutsol, T. D. (2017). Modelirovanie elektromagnitnykh polej v organizme zhivotnogo pri ego termografirovanii [Modeling of electromagnetic fields in the animal's body during its thermography]. *Visnik Nac. texn. un-tu "KhPI". Ser.: Mexaniko-texnologichni sistemi ta kompleksi*. Kharkiv: NTU "KhPI", 44 (1266), 43–47. [in Russ.]
2. Hutsol, T. D. (2017). Teoreticheskij analiz krovotoka zhivotny'x pri nalichii pul'sacij davleniya [Theoretical analysis of animal blood flow in the presence of pressure pulsations]. *Visnik Nac. texn. un-tu "KhPI": zb. nauk. pr. ser.: Mexaniko-texnologichni sistemi ta kompleksi*, 33 (1255), 112–116. [in Russ.]
3. Cherenkov, A. D., Kosulina, N. G., & Pirotti, E. L. (1999). Opredelenie intensivnosti e'lektromagnitnogo izlucheniya zhivotny'x v zavisimosti ot skorosti dvizheniya krovotoka [Determination of the animals electromagnetic radiation intensity as a function of the blood flow velocity]. *Visnik Kharkivs'kogo derzhavnogo politexnichnogo universitetu*, 20–22. [in Russ.]
4. Cherenkov, A.D., Kosulina, N.G. & Sapruca, A.V. (2015). Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals. *Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. November – December. RJPBCS 6(6), 1686–1694.
5. Pedli, T. (1983). Gidrodinamika krupny'x krovenosny'x sosudov [Hydrodynamics of large blood vessels]; (T. G. Pedli, Trans). Moskow : Mir. [in Russ.]
6. Karo, K., & Pedli, T. (1981). *Mexanika krovoobrashheniya* [Mechanics of blood circulation]. Moskow: Mir. [in Russ.]
7. Appelblat, A., & Katzir-Katchalsky, A. (1974). Steady laminar flow through a blood vessel. *Biorheology*, 11, 55– 67.
8. Dennis, S. C. (1982). Dual solutions for steady laminar flow through a curved tube. *Quart. J. Mech. And Appl. Math.*, Vol. 35, 3, 305–324.
9. Hillen, B., Gaasbeek, T., & Hoogstraten, H. (1982). A mathematical model of the flow in the posterior communicating arteries. *J. Bioimech.*, 15 (6), 441–448.
10. Yearwood, T. L., Chandran, K. B. (1980). Experimental investigation of steady flow through a model of the human aortic arch. *J. Biomech*, Vol. 123. No. 10, 1075–1088.



11. Skou, Niels (1989). *Microwave radiometer systems: Design and analysis*. Boston London: Artech House.

12. Be'tchelor, Dzh. (1973). *Vvedenie v dinamiku zhidkостей* [Introduction to the dynamics of liquids] (Trans. from engl.). Moskow : Mir. [in Russ.]

*Received: March 16, 2018*

*Revision: April 16, 2018 Accepted: May 31, 2018*