



УДК 620.179.1.082.7:658.58

## СПИНТРОНИКА И МАГНЕТОН БОРА. УЧЕТ УПРУГОГО ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ И МАГНИТНОЙ ВЯЗКОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ ТРЕНИЯ

Ивасышин Г.С.

## SPINTRONICS AND THE BOHR MAGNETON. CONSIDERATION OF ELASTIC AFTEREFFECT AND MAGNETIC VISCOSITY WHEN SOLVING THE THERMAL PROBLEM OF FRICTION

Ivasyshin G.S

**Аннотация.** Рассмотрены особенности влияния упругого последействия и магнитной вязкости (магнитного последействия) на решение тепловой задачи трения твердых тел, обладающих набором тепловых колебаний. Определены аналитические зависимости, подтверждающие влияние упругого последействия на теплофизические параметры. Уточнена формула А.В. Чичинадзе для расчета температуры на скользящем контурном или фактическом пятне контакта, например, на активных поверхностях муфты свободного хода.

**Ключевые слова:** упругое последействие; магнитная вязкость; тепловая задача трения; тепловые колебания; магнетон Бора; спинтроника.

**Abstract.** The peculiarities of the effect of elastic aftereffect and magnetic viscosity (magnetic aftereffect) when solving the thermal problem of friction of solids with a set of thermal vibrations are considered. Analytical dependences confirming the effect of the elastic aftereffect on the thermophysical parameters are found. The Chichinadze formula for calculating the temperature on the sliding contour or actual contact spot has been refined, for example, on the active surfaces of the free-running clutch.

**Keywords:** elastic aftereffect; magnetic viscosity; thermal problem of friction; thermal oscillations; Bohr magneton; spintronics.

«...Планк посадил в ухо физикам блоху...»

Альберт Эйнштейн, лауреат Нобелевской премии, 1918 г.

«...Присудить Нобелевскую премию по физике 1918 г. Макс Планку в знак признания того вклада, который он внес в развитие физики открытием элемента действия...»

Решение Шведской академии наук, присуждающей Нобелевские премии от 13.11.1919.

«...при намагничивании ферромагнетиков в переменных магнитных полях последействие приводит к добавочным потерям: величина проницаемости, определяемая при переменноточных измерениях через омическое или индуктивное сопротивление, также оказывается зависящей от величин последействия...»

«...эффект магнитного последействия чрезвычайно резко зависит от температуры. Этот факт с несомненностью указывает на то, что явление магнитного последействия нельзя считать чисто электромагнитным эффектом, оно тесно связано с тепловым движением в кристаллической решетке ферромагнетика...»

физик С. В. Вонсовский

### Введение

Учет тепловых явлений и, в частности, тепловой динамики трения необходим при решении одной из наиболее актуальных проблем трибологии — повышения работоспособности материалов и узлов трения в широком диапазоне температур [1]. Автором была установлена неизвестная ранее закономерность аддитивности упругого последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения, заключающаяся в том, что в упругой и пластической областях твердых тел в зоне их фрикционного контакта

происходит суммирование (аддитивность) упругих и пластических последствий, вызывающих изменения фрикционных связей, физико-механических характеристик материала и пространственного положения пары трения, обусловленная направленным перемещением дислокаций в упругой и пластической областях пары трения [2].

Определение модуля Юнга  $E$ , модуля сдвига  $G$  и коэффициента Пуассона  $\nu$  с учетом упругого последствия ведет к совершенствованию расчетов предварительного смещения, ответственного за стабильность процесса трения и формирование силы внешнего трения, за упругодиссипативные свойства трибосопряжений, обеспечивающих появление фрикционных автоколебаний, в частности, в авиации (флаттер, шимми), в станкостроении (равномерность медленных движений и точность установочных перемещений) [3]. Безусловно, что изменение фрикционных связей, физико-механических характеристик материала и пространственного положения пары трения зависит от тепловых процессов при трении.

Очевидно, что без реального представления о протекающих тепловых режимах и знания действительных значений температур невозможно правильно оценить поведение узла трения, выбрать материалы пар трения и смазочные материалы на стадии проектирования конкретных узлов трения [4]. С учетом экранирующего влияния весьма тонких и прочных смазочных пленок А. В. Чичинадзе предложил уточненную формулу для расчета температуры на скользящих фактических пятнах контакта:

$$\Delta T = (2^{0.5} + 1) \cdot 2^{0.5} - (f P_H \nu_{cl} \alpha^{0.5} d_r) \cdot \left\{ A_r \lambda \cdot \left[ 4 \alpha^{0.5} + (\pi d_r \nu_{cl})^{0.5} \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $f$  — коэффициент трения;  $P_H$  — номинальная нагрузка;  $\nu_{cl}$  — скорость скольжения;  $d_r$  — размер пятна контакта по вектору скорости скольжения;  $\alpha$ ,  $\lambda$  — соответственно коэффициенты температуропроводности и теплопроводности материалов пары трения;  $A_r$  — фактическая площадь контакта.

Решение тепловой задачи трения, познание тепловых и температурных процессов в подвижных сопряжениях деталей машин и электронных приборов на основе закономерности аддитивности упругого последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения [2] даст возможность целенаправленно управлять трением и износом, а также исследовать спиновые эффекты в твердотельных структурах.

В твердых телах к спиновой релаксации могут приводить, в частности, колебания решетки.

«...**Спинтроника** (spintronics) – область науки и техники, занимающаяся созданием, исследованием и применением электронных приборов, в которых спин электрона наравне с его зарядом используется для получения, обработки и передачи информации...» [5].

«...**Спин** (spin) представляет собой собственный момент количества движения квантовой частицы, определяемый ее гипотетическим вращением вокруг собственной оси. Он имеет квантовую природу и не связан с перемещением частицы в пространстве...» [5].

Скорость спин-решеточной релаксации при доминирующей роли колебаний решетки описывают выражением [5]

$$\frac{1}{T_1} = \frac{54\pi\nu^2}{\hbar\rho\nu_0^5} \left[ \frac{\mu_0\mu_B^2}{r_0^3} K_B T \right] \quad (2)$$

где  $T_1$  — время продольной релаксации,  $\nu$  — частота колебаний атомов решетки,  $\hbar$  — редуцированная постоянная Планка,  $\hbar = h/(2\pi)$ ,  $h$  — постоянная Планка (квант действия),  $\rho$  — плотность материала,  $\nu_0$  — скорость звука в материале,  $\mu_0$  — магнитная проницаемость вакуума,  $\mu_B$  — магнетон Бора,  $\mu_B = e\hbar / (2m_0)$ ,  $m_0$  — масса электрона,  $e$  — элементарный заряд, заряд электрона,  $r_0$  — расстояние между соседними атомами в решетке,  $K_B$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура.

«...Макроскопическое механическое поведение материала удобно описывать с помощью деформации, которую создают напряжение, температура и время. Известны различные идеализированные схемы такого поведения: упругость, пластичность, ползучесть, релаксация и упругое последствие.

На механические свойства материала сильное влияние оказывает их структура, поэтому необходимо знать строение материала на всех уровнях. Начиная с атомной структуры и кончая геометрией конструкций.

Электронная структура атомов определяет связь между ними в твердом теле...»

«...Твердое тело обладает набором тепловых колебаний.

Наивысшая частота, соответствующая встречному колебательному движению соседних атомов, приблизительно равна

$$v = \sqrt{\frac{Eb}{M/N_A}}, \quad (3)$$

где  $E$  — модуль упругости,  $N_A$  — число Авогадро,  $M$  — атомный вес,  $b$  — межатомное расстояние.

Если температура высока и квантомеханические эффекты значительной роли не играют, т. е.

$$kT \geq h\nu, \quad (4)$$

то тепловое движение атомов в решетке можно в первом приближении описать с помощью классической статистики Больцмана...» [6].

### Постановка задач

1. Имея в виду то, что модуль Юнга  $E$ , модуль сдвига  $G$ , коэффициент Пуассона  $\nu$ , характеризующие упругие свойства материалов, зависят от упругого последствия и температуры, а теплофизические параметры  $\alpha$ ,  $\lambda$  — соответственно коэффициенты температуропроводности и теплопроводности влияют на величину  $\Delta T$ , представляется целесообразным найти аналитические зависимости, подтверждающие влияние упругого последствия на  $\alpha$ ,  $\lambda$  и температуру на скользящем контурном или фактическом пятнах контакта  $\Delta T$ .

2. В связи с влиянием процессов неупругости на динамику процессов трения и износа уточнить формулу (1), предложенную А.В. Чичинадзе для расчета температуры на скользящем контурном или фактическом пятнах контакта, например, на активных поверхностях муфты свободного хода, тем более, что аналитическое решение тепловой задачи трения в настоящее время переходит с рассмотрения решения задач на локальном пятне контакта на решение задач для конкретных сопряжений реальных размеров.

### Решение задачи № 1

В технике имеет существенное значение величина коэффициента температуропроводности  $\alpha$ , которая выражается следующим образом:

$$\alpha = \lambda / \rho c, \quad (5)$$

где  $\lambda$  — теплопроводность (коэффициент теплопроводности);  $\rho$  — плотность;  $c$  — теплоемкость.

Теплопроводность  $\lambda$  зависит от температуры. Модуль объемной упругости  $K$ , модуль Юнга  $E$ , модуль сдвига  $G$ , коэффициент Пуассона  $\nu$  — оказывают существенное влияние на значения теплопроводности  $\lambda$  и температуропроводности  $\alpha$ .

Представим теплопроводность  $\lambda$  в виде

$$\lambda = \alpha \rho c. \quad (6)$$

Решая совместно (1) и (6), получим

$$\Delta T = (2^{0,5} + 1) \cdot 2^{0,5} \cdot (f P_H v_{cl} \alpha^{0,5} d_r) \cdot \left\{ A_r \alpha \rho c \cdot \left[ 4 \alpha^{0,5} + (\pi d_r v_{cl})^{0,5} \right] \right\}, \quad (7)$$

Величина  $\Delta T$  зависит от физико-механических характеристик материалов, в том числе от модуля объемного сжатия  $K$  (величины, обратной коэффициенту сжимаемости  $\beta$ ), модуля нормальной упругости  $E$ , модуля сдвига  $G$ , коэффициента Пуассона  $\nu$ .

Сжимаемость – важнейшая характеристика вещества, которая позволяет судить о зависимости его физико-механических свойств от межатомных (межмолекулярных) расстояний. Величину сжимаемости характеризует коэффициент сжимаемости  $\beta$ , который выражает уменьшение единичного объема  $V$  или плотности  $\rho$  тела при увеличении давления  $p$ :

$$\beta = -\frac{1}{V} \left( \frac{\Delta V}{\Delta p} \right) = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\Delta \rho}{\Delta p} \right), \quad (8)$$

где  $\Delta V$  и  $\Delta \rho$  — изменения соответственно объема  $V$  и плотности  $\rho$  при изменении давления  $p$  на величину  $\Delta p$ ;

$$\frac{1}{\beta} = K = \frac{EG}{3(3G-E)} = \frac{E}{3(1-2\nu)}. \quad (9)$$

Из анализа формул (8) и (9) следует, что одним из весомых определяющих факторов является влияние упругого последствия на модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент Пуассона, плотность материала [3]. При этом плотность  $\rho$ , зависящая от упругого последствия, является одной из доминант, влияющих на коэффициент температуропроводности  $\alpha$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , а также температуру на скользящем контурном или фактическом пятнах контакта  $\Delta T$ . Последствия влияния упругого последствия на модуль объемного сжатия  $K$  и плотность  $\rho$  требуют более конкретного (экспериментального) изучения факторов, влияющих на величину  $\Delta T$ .

## Решение задачи № 2

Как известно, И.В. Крагельским, А.В. Чичинадзе и Г.И. Трояновской получены фундаментальные зависимости коэффициента трения и интенсивности изнашивания от температурных характеристик [1]. В работе [7] представлены результаты исследования влияния упругого последствия и его аддитивности на сопротивление качению в шпиндельных опорах и роликовых механизмах свободного хода.

Рассмотрено влияние величины упругого последствия на коэффициент трения механизма свободного хода [8]

$$f = \operatorname{tg} \left[ 0,5 \arccos \frac{2(c/d_0 + \Delta) + 1}{D/(d_0 + \Delta) - 1} \right], \quad (10)$$

где  $c$  – параметр механизма свободного хода;  $D$  - диаметр отверстий наружной обоймы;  $d_0$  - диаметр ролика без учета упругого последствия;

$\Delta$  — упругое последствие.

Испытания показали, что точность измерения коэффициента трения по предлагаемому способу возросла на 4...5 %. Геометрия роликов в процессе обратного упругого последствия в основном восстанавливается в течение 10...15 мин. Степень

искажения геометрии роликов и интенсивность прохождения упругого последействия у роликов, изготовляемых из марок сталей ШХ15, У8, 40Х, различна.

Эксплуатация роторных автоматов [9] подтвердила правильность рекомендаций, полученных в результате экспериментального определения упругого последействия материала роликов. В частности, регламентация материала роликов по упругому последействию обеспечила выравнивание нагрузки между роликами в заклиненном состоянии, а также уменьшила износ роликов механизма свободного хода до 15 %.

С учетом (10) уточненная формула для расчета температуры на скользящем контурном или фактическом пятнах контакта активных поверхностей муфты свободного хода имеет вид

$$\Delta T = (2^{0,5} + 1) \cdot 2^{0,5} - \operatorname{tg} \left[ 0,5 \cdot \arccos \frac{2 \cdot (c/d_0 + \Delta) + 1}{D/(d_0 + \Delta) - 1} \right] (P_H v_{cl} \alpha^{0,5} d_r) \cdot \left\{ A_r \alpha \rho c \left[ 4 \alpha^{0,5} + (\pi d_r v_{cl})^{0,5} \right] \right\}. \quad (11)$$

Оценка тепловых деформаций станков особенно важна для прецизионных станков, когда изменение температурных полей станка играет доминирующую роль в обеспечении требуемой точности. Одним из путей управления напряженным тепловым состоянием активной части контакта в сопряжениях спирально-реечного механизма является корреляция алгоритма изменения шага спирали, спрофилированной по эвольвенте с переменной эволютой, алгоритму изменения нагрузки между несущими элементами.

Проявляясь во времени в виде релаксационных процессов, теплофизические параметры (температуропроводность и теплопроводность), тепловые деформации деталей спирально-реечного механизма изменяют геометрические параметры обрабатываемой заготовки за счет смещения оси обрабатываемой заготовки относительно оси шпинделя [10].

## Выводы

1. Определены аналитические зависимости, подтверждающие влияние упругого последействия на теплофизические параметры  $\alpha$ ,  $\lambda$  - соответственно коэффициенты температуропроводности и теплопроводности и температуру на скользящем контурном или фактическом пятнах контакта  $\Delta T$ .

2. Уточнена формула, предложенная А.В. Чичинадзе для расчета температуры на скользящем контурном или фактическом пятне контакта, например, на активных поверхностях муфты свободного хода.

3. Имея в виду то, что квант действия Планка  $h$  сопровождается квантом последействия  $hI$  [11], представляется возможным сделать вывод о том, что магнетон Бора  $\mu_B$  зависит от кванта последействия.

4. Имея в виду то, что квант действия Планка  $h$  (элемента действия) сопровождается квантом последействия  $hI$ , представляется возможным констатировать:

4.1. Магнетон Бора ( $\mu_B = e\hbar / 2m\Box$ ), используемый в качестве единицы измерения элементарного магнитного момента [5], зависит от кванта последействия  $hI$  (элемента последействия);

4.2. Спин, измеряемый в единицах постоянной Планка  $\hbar$  и равный  $J\hbar$ , где  $J$  – характерное для каждого сорта частиц целое число (в т.ч. нулевое) или полуцелое положительное число, называемое спиновым квантовым числом [12], зависит от кванта последействия  $hI$  (элемента последействия).

Определенный магнитный момент соответствует также и спину электрона [13].

5. На основе научного открытия «Закономерность аддитивности температурного последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения» [14], а также утверждения физика С.В. Вонсовского о том, что «...эффект магнитного последействия

чрезвычайно резко зависит от температуры...», вполне логично сделать вывод о зависимости эффекта магнитного последствия от температурного последствия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учебник / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др.; Под ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
2. Ивасышин Г.С. Закономерность аддитивности упругого последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения. Научное открытие. Диплом № 258. Заявка на научное открытие № А-314 от 14 мая 2003 г.
3. Ивасышин Г.С. Влияние упругого последствия на физико-механические свойства контактирующих материалов // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2006, № 8. С. 11-17.
4. Гурский Б.Э., Чичинадзе А.В. Становление и развитие тепловой задачи применительно к трению, изнашиванию и смазке // Приложение к журналу «Сборка в машиностроении и приборостроении. 2005, № 2(8). Часть 1. С. 3-8; № 3(9). Часть 2. С. 3-8; Часть 3. № 4 (10). С. 3-8; Часть 4. № 5 (11). С. 3-8.
5. Борисенко В.Е. Спинтроника: учебное пособие / В.Е. Борисенко, А.Л. Данилюк, Д.Б. Мигас. М.: Лаборатория знаний, 2017. 229 с.
6. Макклиток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение материалов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. 444 с.
7. Ивасышин Г.С. Влияние упругого последствия и его аддитивности на сопротивление качению в шпindelных опорах и роликовых механизмах свободного хода // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2006, №1. С. 23-31.
8. Ивасышин Г.С. Способ определения коэффициента трения механизма свободного хода. Патент № SU 1511642 А1 МКИ G01 N19/02 // Бюлл. изобр., 1989. № 36.
9. Ивасышин Г.С. Влияние упругого последствия на контактную жесткость металлорежущих станков и автоматических роторных линий // Известия вузов. Машиностроение, 1988. № 3. С. 126-130.
10. Ивасышин Г.С. Учет упругого последствия при решении тепловой задачи трения // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2009, № 5. С. 38-40.
11. Ивасышин Г.С. Исследование трения износа по наномасштабам методом профилированной координатной сетки. Квант действия Планка  $h$  и квант последствия  $h\pi$  // Межотраслевой альманах «Деловая слава России». 2014. №2 (45). С. 38-40
12. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Мир, 1986. 384 с.
13. Эрдеи-Груз Т. Основы строения материи. Под ред. и с предисл. Г.Б. Жданова. М.: Мир. 1976. 488 с.
14. Ивасышин Г.С., Радкевич М.М., Чулкин С.Г. Закономерность аддитивности температурного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения Научное открытие. Диплом № 404. Заявка на научное открытие № А-507 от 24 июля 2010 г.

## REFERENCES

1. *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka): uchebnik* [Basics of tribology (friction, wear, lubrication): Textbook]. A.V. Chichinadze, E.D. Braun, N.A. Bushe et al.; Edit. A.V. Chichinadze. Moscow: Mashinostroenie, 2001. 664 p.
2. Ivasyshin G.S. *Zakonomernost' additivnosti uprugogo posledejstviya v ob'emnyh chastyah i poverhnostnyh sloyah par treniya* [The regularity of additivity of the elastic aftereffect in the bulk

part and the surface layers of friction pairs]. Nauchnoe otkrytie. Diplom № 258. Zayavka na nauchnoe otkrytie № No-314, 14.05.2003.

3. Ivasyshin G.S. *Vliyanie uprugogo posledejstviya na fiziko-mekhanicheskie svojstva kontaktiruyushchih materialov* [Effect of elastic aftereffect on the physico-mechanical properties of contacting materials]. *Trenie i smazka v mashinah i mekhanizmah*, 2006. No 8, pp. 11-17.

4. Gurskij B.E., Chichinadze A.V. Stanovlenie i razvitiye teplovoj zadachi primenitel'no k treniyu, iznashivaniyu i smazke [Formation and development of thermal problems in relation to friction, wear and lubrication]. *Prilozhenie k zhurnalu «Sborka v mashi-nostroenii i priborostroenii»*. 2005. No 2(8). P. 1, pp. 3-8; No 3(9). P. 2, pp. 3-8; P. 3. No 4 (10), pp. 3-8; P. 4. No 5 (11), pp. 3-8.

5. Borisenko V.E., Danilyuk A.L., Migas D.B. *Spintronika: uchebnoe posobie* [Spintronics: textbook]. Moscow: Laboratoriya znaniy, 2017. 229 p.

6. Makklintok F., Argon A. *Deformaciya i razrushenie materialov* [Deformation and destruction of materials]. Moscow: Mir, 1971. 444 p.

7. Ivasyshin G.S. *Vliyanie uprugogo posledejstviya i ego additivnosti na soprotivlenie kacheniyu v shpindel'nyh oporah i rolikovyh mekhanizmah svobodnogo hoda* [Effect of elastic aftereffect and its additivity on the rolling resistance in the spindle bearings and roller mechanisms to freewheel] *Trenie i smazka v mashinah i mekhanizmah*. 2006. No 1, pp. 23-31.

8. Ivasyshin G.S. *Sposob opredeleniya koefficienta treniya mekhanizma svobodnogo hoda* [The method of determining the coefficient of friction of the freewheel]. Patent No SU 1511642 A1 MKI G01 N19/02. Byull. Izob., No 36. 1989.

9. Ivasyshin G.S. *Vliyanie uprugogo posledejstviya na kontaktную zhestkost' metallorезhushchih stankov i avtomaticheskikh rotnykh linij* [Effect of elastic aftereffect on the contact stiffness of machine tools and automatic rotary lines]. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*. 1988. No 3, pp. 126-130.

10. Ivasyshin G.S. *Uchet uprugogo posledejstviya pri reshenii teplovoj zadachi treniya* [The elastic aftereffect in the solution of thermal problem of friction]. *Trenie i smazka v mashinah i mekhanizmah*. 2009. No 5, pp. 38-40.

11. Ivasyshin G.S. *Issledovanie treniya iznosa po nanoshkale metodom profilirovannoj koordinatnoj setki. Kvant dejstviya Planka  $h$  i kvant posledejstviya  $HI$*  [Study of friction wear on nanoscale method profiled grid. Quantum of Planck's action quantum  $h$  and the aftereffect  $HI$ ]. *Mezhotraslevoj al'manah "Delovaya slava Rossii"*. 2014. No 2 (45), pp. 38-40.

12. *Fizicheskij enciklopedicheskij slovar'* [Physical encyclopedic dictionary]. Edit. A.M. Prohorov. Moscow: Mir, 1986. 384 p.

13. Erdei-Gruz T. *Osnovy stroeniya materii* [Theory of the structure of matter]. Edit. G.B. Zhdanov. Moscow: Mir. 1976. 488 p.

14. Ivasyshin G.S., Radkevich M.M., Chulkin S.G. *Zakonomernost' additivnosti temperaturnogo posledejstviya v ob'emnyh chastyah i poverhnostnyh sloyah par treniya* [The regularity of additivity of thermal aftereffect in the bulk part and the surface layers of friction pairs] Nauchnoe otkrytie. Diplom No 404. Zayavka na nauchnoe otkrytie No A-507 24.07.2010.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Ивасьшин Генрих Степанович*

Псковский государственный университет, г. Псков, Россия, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теории механизмов и машин, действительный член Российской инженерной академии,

E-mail: [genrih.ivasyshin@yandex.ru](mailto:genrih.ivasyshin@yandex.ru)



*Ivasyshin Genrih Stepanovich*

Pskov State University, Pskov, Russia, Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Theory of Machines and Mechanisms, Member of Russian Engineering Academy,

E-mail: [genrih.ivasyshin@yandex.ru](mailto:genrih.ivasyshin@yandex.ru)

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:  
180000, г.Псков, пл. Ленина, д.2. ПсковГУ, ФИиСТ, УНЦИН, каб. 205. Ивасышин Г.С.  
8(8112) 797847