

ISSN 1997-0935

научно-технический журнал

ВЕСТНИК



МГСУ

6/2015



материалы оборудование технологии

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

2015 № 6

Москва

ФГБОУ ВПО «МГСУ»

СОДЕРЖАНИЕ

Дмитренко Е.Н. Как помочь студенту встроиться
в научную жизнь университета?..... 5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Васильева О.А. Численное исследование системы
уравнений Карлемана 7

Исаева Л.М. Краевая задача для одномерного
дробного дифференциального уравнения
адвекции-диффузии 16

Римшин В.И., Кришан А.Л., Мухаметзянов А.И.
Построение диаграммы деформирования одноосно
сжатого бетона..... 23

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Зерцалов М.Г., Симутин А.Н., Александров А.В.
Технология компенсационного нагнетания
для защиты зданий и сооружений 32

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ. СПЕЦИАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Золина Т.В., Туснин А.Р. Увеличение срока
эксплуатации промышленного объекта
введением конструктивных мер 41

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Мацевич Т.А., Попова М.Н., Аскадский А.А.
Температура стеклования и модуль упругости
нанокompозитов на основе полиимидов 50

Основан в 2005 году, 1-й номер вышел в 2006 г.
Выходит ежемесячно

Учредители:
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Московский государственный строительный
университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»),
общество с ограниченной ответственностью
«Издательство АСВ»

Выходит
при научно-информационной поддержке
Российской академии архитектуры
и строительных наук (РААСН),
международной общественной организации
«Ассоциация строительных
высших учебных заведений» (АСВ)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-47141
от 3 ноября 2011 г.

Включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России
Перечень рецензируемых научных журналов
и изданий, в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты диссертаций
на соискание ученых степеней кандидата
и доктора наук

Индексируется в РИНЦ,
UlrichsWeb Global Serials Directory,
DOAJ, EBSCO, Index Copernicus

Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering

Scientific and Technical Journal
on Construction and Architecture

Founded in 2005, 1st issue was published in 2006.
Published monthly

Founders: Moscow State University of Civil Engineering
(MGSU),
ASV Publishing House

The Journal enjoys
the academic and informational support provided
by the Russian Academy of Architecture
and Construction Sciences (RAACS),
International Association of Institutions of Higher Education
in Civil Engineering

The Journal has been included in the list of the leading
review journals and editions of the Highest Certification
Committee of Ministry of Education and Science
of Russian Federation in which the basic results of PhD
and Doctoral Theses are to be published

Главный редактор
 акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Теличенко (МГСУ)

Редакционная коллегия:

Х.Й.Х. Броуэрс (Технический университет Эйнховена, Нидерланды),

А.И. Бурханов (ВолгГАСУ),

А.А. Волков (МГСУ),

О.Е. Горячева (отв. редактор, МГСУ),

О.В. Игнатьев (РУДН),

Е.В. Королев (МГСУ),

О.И. Поддава (МГСУ),

А.П. Пустовгар (МГСУ),

А.В. Шамшин (Университет Центрального Ланкашира, Соединенное Королевство)

Редакционный совет:

А.А. Волков (председатель),

П.А. Акимов, Ю.М. Баженов,

О.О. Егорычев, Е.А. Король, Н.С. Никитина,

В.И. Теличенко, З.Г. Тер-Мартirosян (МГСУ),

С.А. Амбарцумян (Концерн «МонАрх»),

А.Т. Беккер (ДВФУ, ДВРО РААСН, Владивосток),

Н.В. Баничук, С.В. Кузнецов (ИПМ

им. А.Ю. Ишлинского РАН),

Й. Вальравен (Технический университет Дельфта, Нидерланды),

Й. Вичан (Университет Жилина, Словакия),

З. Войчицкий (Вроцлавский технологический

университет, Польша),

М. Голицки (Институт Клокнера Чешского

технического университета в Праге,

Чешская Республика),

В.Т. Ерофеев (МГУ им. Н.П. Огарева)

Н.П. Кошман (Ассоциация строителей России),

П. МакГи (Университет Болтона,

Соединенное Королевство),

Н.П. Осмоловский (МГУ им. М.В. Ломоносова),

П.Я. Паль (Технический университет Берлина,

Германия), **В.В. Петров** (СГТУ, Саратов),

Е.И. Пупырев (ГУП «МосводоканалНИИпроект»),

А.Ю. Русских (Государственная Дума Федерального

Собрания Российской Федерации),

Ю.А. Табунчиков (МАРХИ),

О.В. Токмаджян (НПУА, Армения),

В.И. Травуш (РААСН)

Адрес редакции:

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, МГСУ.

Тел./ факс +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,

e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru

Электронная версия журнала

<http://vestnikmgsu.ru>

ISSN 2304-6600 (Online)

Периодическое научное издание

Вестник МГСУ. 2015. № 6

Научно-технический журнал

Зав. редакцией журналов **О.В. Горячева**

Редактор **В.Я. Пацля**

Корректор **А.А. Дядичева**

Верстка **А.Д. Федотов**

Перевод на английский язык **О.В. Иванова**

Подписано в печать 23.06.2015. Формат 70x108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Таймс. Усл.-печ. л. 13,83. Уч.-изд. л. 12.,9.

Тираж 200 экз. Заказ № 209.

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Московский государственный строительный

университет».

Издательство МИСИ — МГСУ

www.mgsu.ru, ric@mgsu.ru

(495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ — МГСУ,

(499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90.

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

Перепечатка или воспроизведение материалов

номера любым способом полностью или по частям

допускается только с письменного разрешения Издателя.

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс 18077 (полугодовая),

36869 (годовая)

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2015

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Дегтярев В.В., Еришов Д.И.** Численное моделирование процесса осадконакопления терригенного материала в устьевых областях рек 64
- Пугин К.Г., Вайсман Я.И.** Управление рисками негативных воздействий на объекты окружающей среды строительных материалов из отходов производства 73
- Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Ермаков В.В., Раменская Е.В., Штеренберг А.М.** Геоэкологическое обоснование освоения накопителей шламов ЖКХ методом обработки многомерных данных 88

ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

- Боровков В.С., Волианик В.В., Рылова И.А.** Характерные особенности распределения скоростей в турбулентном потоке 103
- Медзвелья М.Л.** Коэффициент расхода жидкости в канале с боковым сужением потока 110

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

- Привезенцева С.В., Теслер К.И.** Особенности организации доступности общественного транспорта для крупных городов (на примере «Новой Москвы») 115

ЭКОНОМИКА УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Морозенко А.А., Якимчук Р.В.** Управление рисками в процессе поставки технологического оборудования при возведении объектов энергетики 124
- Родионова С.В.** Разработка методики оценки эффективности организационных инноваций с точки зрения коммуникационного подхода 131

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- Локтев А.А., Локтев Д.А.** Метод определения расстояния до объекта путем анализа размывтия его изображения 140
- Авторам** 152

CONTENT

Dmitrenko E.N. How to help a student to enter the scientific life of the university?..... 5

DESIGNING AND DETAILING OF BUILDING SYSTEMS. MECHANICS IN CIVIL ENGINEERING

Vasil'eva O.A. Numerical investigation of the Carleman system 7

Isaeva L.M. The boundary value problem for one-dimensional fractional differential equation of advection-diffusion..... 16

Rimshin V.I., Krishan A.L., Mukhametzyanov A.I. Constructing a deformation diagram of uniaxially compressed concrete 23

BEDDINGS AND FOUNDATIONS, SUBTERRANEAN STRUCTURES. SOIL MECHANICS

Zertsalov M.G., Simutin A.N., Aleksandrov A.V. Application of compensation grouting technology for protection of buildings and structures 32

ENGINEERING RESEARCH AND EXAMINATION OF BUILDINGS. SPECIAL-PURPOSE CONSTRUCTION

Zolina T.V., Tusnin A.R. Extending industrial objects' life by introduction constructive measures 41

RESEARCH OF BUILDING MATERIALS

Matsevich T.A., Popova M.N., Askadskiy A.A. Glass transition temperature and elastic modulus of nanocomposites based on polyimides..... 50

SAFETY OF BUILDING SYSTEMS. ECOLOGICAL PROBLEMS OF CONSTRUCTION PROJECTS. GEOECOLOGY

Degtyarev V.V., Ershov D.I. Numerical modeling of sedimentation of terrigenous material in estuarine areas of rivers..... 64

Pugin K.G., Vaysman Ya.I. Risk management of the negative impacts of building materials produced of production wastes on the environmental medium 73

Chertes K.L., Tupitsyna O.V., Pystin V.N., Ermakov V.V., Ramenskaya E.V., Shterenberg A.M. Geocological rationale of the development of housing and communal services sludge storages by the method of multidimensional data processing..... 88

HYDRAULICS. ENGINEERING HYDROLOGY. HYDRAULIC ENGINEERING

Borovkov V.S., Volshanik V.V., Rylova I.A. Features of velocity distribution in a turbulent flow 103

Editor-in-chief
Member of the Russian Academy
of Architecture and Construction Sciences
(RAACS), DSc, Prof. **V.I. Telichenko**,
(MGSU)

Editorial board:

H.J.H. Brouwers (Eindhoven University of Technology, Netherlands),
A.I. Burkhanov (VSUCE, Volgograd, Russian Federation),
O.E. Goryacheva (Executive Editor, MGSU, Moscow, Russian Federation),
O.V. Ignat'ev (PFUR, Moscow, Russian Federation),
E.V. Korolev (MGSU, Moscow, Russian Federation),
O.I. Poddaeva (MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.P. Pustovgar (MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.V. Shamshin (University of Central Lancashire, Preston, United Kingdom),
A.A. Volkov (MGSU, Moscow, Russian Federation)

Editorial council:

A.A. Volkov (Chairman),
P.A. Akimov, Yu.M. Bazhenov,
O.O. Egoroychev, E.A. Korol, N.S. Nikitina,
V.I. Telichenko, Z.G. Ter-Martirosyan (MGSU, Moscow, Russian Federation),
S.A. Ambartsumyan (MonArch Group, Moscow, Russian Federation),
A.T. Bekker (Far Eastern Federal University, FERD RAASN, Vladivostok, Russian Federation),
N.V. Banichuk, S.V. Kuznetsov (A. Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow, Russian Federation),
V.T. Erofeev (Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation)
M. Holický (Czech Technical University in Prague, Klokner Institut, Czech Republic),
N.P. Koshman (Builders Association of Russia, Moscow, Russian Federation),
P. McGhee (University of Bolton, United Kingdom),
N.P. Osmolovskiy (Lomonosov Moscow State University, Russian Federation),
P.J. Pahl (Technical University of Berlin, Germany),
V.V. Petrov (Saratov State Technical University, Russian Federation),
E.I. Puprev (MosvodokanalNIIproekt, Moscow, Russian Federation),
A. Yu. Russkikh (State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation),
Yu.A. Tabunshchikov (Moscow Institute of Architecture (State Academy), Russian Federation),
O.V. Tokmadzhyan (National Polytechnic University of Armenia),
V.I. Travush (Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russian Federation),
J. Vičan (University of Zilina, Slovakia),
J. Walraven (Delft University of Technology, Netherlands)
Z. Wójcicki (Wroclaw University of Technology, Poland)

Address:
MGSU, 26, Yaroslavskoye shosse, Moscow,
129337, Russian Federation
Tel./ fax +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,
e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru
online version of the journal
<http://vestnikmgsu.ru/>
ISSN 2304-6600 (Online)

Editorial team of issues:
Head of journal editorial office **O.V. Goryacheva**
Editor **V.Ya. Patsiya**
Corrector **A.A. Dyadicheva**
Layout **A.D. Fedotov**
Russian-English translation **O.V. Ivanova**

Reprint or reproduction of material numbers by any means in whole or in part is permitted only with prior written permission of the publisher – MGSU.
Distributed by subscription

Medzveliya M.L. The coefficient of discharge in a channel with side narrowing 110

TRANSPORTATION SYSTEMS

Privezentseva S.V., Tesler K.I. Features of public transport availability organization for big cities
(on the example of “New Moscow”) 115

ECONOMICS, MANAGEMENT AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION PROCESSES

Morozenko A.A., Yakimchuk R.V. Risk management in the process of technological equipment
supply during the construction of power engineering facilities..... 124
Rodionova S.V. Efficiency estimation method of organizational innovations in the context
of communicational approach..... 131

INFORMATION SYSTEMS AND LOGISTICS IN CIVIL ENGINEERING

Loktev A.A., Loktev D.A. Method of determining the distance to the object by analyzing
its image blur..... 140
For authors 152

КАК ПОМОЧЬ СТУДЕНТУ ВСТРОИТЬСЯ В НАУЧНУЮ ЖИЗНЬ УНИВЕРСИТЕТА?



Интеграция науки и образования как принцип развития любого вуза, и МГСУ в частности, имеет первостепенное значение, поскольку делает результаты научных исследований быстро востребованными, естественным образом обеспечивая трансфер фундаментальной науки в образовательный процесс и практику. Появляется также опосредованная связь науки и бизнеса (через инновационную инфраструктуру, которая обычно формируется вокруг университетов)¹. Кроме того, интеграция науки в образование позволяет преодолеть разрыв книжного и практического образования, что, в частности, обеспечивается соучастием студента в образовательном и исследовательском процессах.

По мнению социолога О.Н. Яницкого, «если исходить из этого принципа, то образовательный процесс должен быть не «пакетным», а проблемно-ориентированным. Если же он построен по принципу слоеного пирога, то студент поставлен в трудное положение: для решения конкретной задачи он должен извлекать и трансформировать книжное знание в проблемное сам, получаемые ими знания часто наслаиваются, но не расширяют кругозор, так как во многих курсах повторяется одна и та же информация, она не углубляется, а именно наслаивается»².

При разработке учебных планов и особенно рабочих программ необходимо учитывать этот аспект, тем более, что в современных условиях существования образовательного пространства в рамках новых стандартов, предоставляется неограниченная возможность самому вузу принимать решения о комплектовании и наполняемости дисциплин необходимой для решения практических задач информацией.

Студент должен представлять, для чего может понадобиться получаемые им знания; понимать, как стыковать эти знания, т.е. обучаться междисциплинарной коммуникации, но для достижения этой цели студенту, прежде всего, нужны мотивация и заинтересованность, которые приходят с пониманием.

Научная организация труда студентов, а точнее, усвоение студентом элементарных навыков научной работы, ее организации и технологий, «раннее вовлечение студентов в исследовательские и образовательные проекты как младших партнеров (а не как статистов)»³, дает возможность заинтересованной части студентов встроиться в научную жизнь университета.

Все это возможно, если в студенческой среде постепенно будет изжит принцип потребительства. Мне кажется, что понятие «дружелюбного института», такого, который поддерживает самореализацию студентов, их идей и проектов, позволит поддерживать диалог со студентами, а не навязывать ему все новые потребности.

Заместитель директора по учебной работе
Мытищинского филиала МГСУ

Е.Н. Дмитренко

¹ Дежина И.Г., Киселева В.В. Тенденции развития научных школ в современной России. М. : ИЭПП, 2009. 164 с.

² Яницкий О.Н. Высшее образование: проблемы, перспективы (размышление после дискуссии) // RELGA № 18 [236] 10.11.2011. Режим доступа: <http://www.relga.ru/Environ/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?level1=main&level2=articles&textid=3052>. Дата обращения: 11.06.2015.

³ То же.

HOW TO HELP A STUDENT TO ENTER THE SCIENTIFIC LIFE OF THE UNIVERSITY?

The integration of science and education as a development principle of any university and MGSU in particular is of primary importance, because it quickly makes the scientific investigations results demanded, naturally providing the transfer of fundamental science in the educational process and practice. Also there appears a mediated connection of science and business (through innovative infrastructure, which is usually formed around universities)¹. Moreover, the integration of science into education helps overcoming the gap between book-learned and practical education, which is for example provided by participation of a student in educational and research processes.

According to the opinion of a sociologist O.N. Yanitsky “If we are basing on this principle, the educational process should not be “batch”, but problem-oriented. If it is created on the principle of layer-cake, a student is in a difficult situation: in order to solve a specific problem a student should extract and transform book knowledge into a problem one by himself, the obtained knowledge often overlap, but don’t broaden the mind, because in many courses the same information is repeated, it is not deepened, but overlaps”².

During the development of curricula and especially working programs it is necessary to account for this aspect, especially as in the modern conditions of educational space existence in frames of new standards a university itself gets an open-ended possibility to make solutions on compilation of disciplines by the information necessary for practical problems solution.

A student should understand for what aim may the obtained knowledge be useful; understand how to combine these knowledge, i.e. study the interdisciplinary communication, but for this aim a student first of all needs motivation and interest, which come together with understanding.

The scientific organization of students’ work, or rather digestion of common skills of scientific work, its organization and technologies, “early involvement into investigation and educational projects as younger partners (but not a supernumerary)”³, gives an opportunity for the interested part of students to enter the scientific life of the university.

All this is possible if the consumption principle will gradually merge into the background. I believe that the notion of “friendly university”, such as encourages personal fulfillment of students, their ideas and projects, will help maintaining the dialogue with the students, but not impose new needs.

Deputy Director for academic work
 of the Mytishchi branch of MGSU

E.N. Dmitrenko

¹ Dezhina I.G., Kiseleva V.V. *Tendentsii razvitiya nauchnykh shkol v sovremennoy Rossii* [Tendencies of Scientific Schools Development in the Present-day Russia]. Moscow, IEPP Publ., 2009, 164 p.

² Yanitskiy O.N. *Vysshee obrazovanie: problemy, perspektivy (razmyshlenie posle diskussii)* [Higher Education: Problems, Prospects (Reflection after the Discussion)]. RELGA. No. 18 [236] 10.11.2011. Available at: <http://www.relga.ru/Enviro/WebObjects/tgu-www.woa/wa/Main?level1=main&level2=articles&textid=3052>. Date of access: 11.06.2015.

³ Ibid.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 517

О.А. Васильева

ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ КАРЛЕМАНА

Рассмотрена одномерная модельная система кинетической теории газов, описываемая системой уравнений Карлемана. Проведено для различных начальных условий численное исследование задачи Коши для кинетической системы уравнений Карлемана. Приведены и обсуждаются полученные численные результаты.

Ключевые слова: кинетическая теория газов, модель Карлемана, конечно-разностная схема, квазилинейное гиперболическое уравнение, случайные процессы, стабилизация решения.

В работе проводится численное исследование решений задачи Коши для системы уравнений Карлемана. Система Карлемана является одной из модельных систем кинетической теории газов, состоящих из одноатомных молекул, имеющих конечное число скоростей, в общем случае описываемых дискретным кинетическим уравнением Больцмана [1—3]. В этом случае одномерный газ состоит из двух типов частиц, имеющих равные по модулю и противоположно направленные скорости. Исследуемая система является квазилинейной системой гиперболических уравнений. В общем случае не существует аналитического решения рассматриваемой системы [4], это объясняет важность численного исследования системы уравнений Карлемана.

Рассмотрим задачу Коши для системы уравнений Карлемана [5—15]

$$\partial_t u + \partial_x u = \frac{1}{\varepsilon} (w^2 - u^2), \quad t > 0, \quad x \in R; \quad (1)$$

$$\partial_t w - \partial_x w = -\frac{1}{\varepsilon} (w^2 - u^2),$$

с начальными условиями

$$u|_{t=0} = u^0(x), \quad w|_{t=0} = w^0(x), \quad (2)$$

где $\varepsilon \gg 1$ — постоянный коэффициент.

Рассмотрим случай периодических начальных условий. В начальный момент времени $u^0(x)$ является невозмущенным и не отклоняется от состояния равновесия, $u^0(x) = 1$, $w^0(x)$ в начальный момент времени имеет гармоническое возмущение от положения равновесия $w^0(x) = 1 + 0,1 \sin(2\pi x)$. Для численного исследования системы (1), (2) применяется явная конечно-разностная схема первого порядка точности с периодическими граничными условиями.

На рис. 1—4 приведены результаты численного исследования решения задачи $u(t, x)$, $w(t, x)$ для значений времени $t_1 = 0$, $t_2 = 0,0125$, $t_3 = 0,1$, $t_4 = 0,75$

соответственно. В начальный период времени $0 < t < t^*$ происходит быстрое перераспределение частиц между группами, «перекачка энергии» возмущения (отклонения от состояния равновесия) $w(t, x)$ и возникает отклонение от состояния равновесия $u(t, x)$. При $t \geq t^*$ $u(t, x)$ совпадает по форме с $w(t, x)$, между $u(t, x)$ и $w(t, x)$ имеется фазовый сдвиг $\varphi(\varepsilon)$ (рис. 4). Наличие фазового сдвига (различия между $u(t, x)$ и $w(t, x)$), обусловленного различием скоростей у разных групп частиц, приводит к эффекту диссипации возмущений и к стремлению к состоянию равновесия, существование которого доказано в [6]. Величина фазового сдвига $\varphi(\varepsilon)$ уменьшается при уменьшении параметра задачи ε ($\varphi(\varepsilon) \rightarrow 0$ при $\varepsilon \rightarrow 0$).

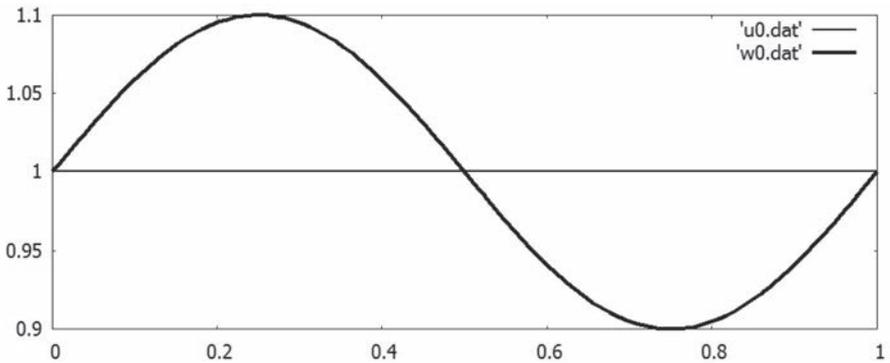


Рис. 1. Начальные условия задачи (1), (2) $u^0(x)$ и $w^0(x)$

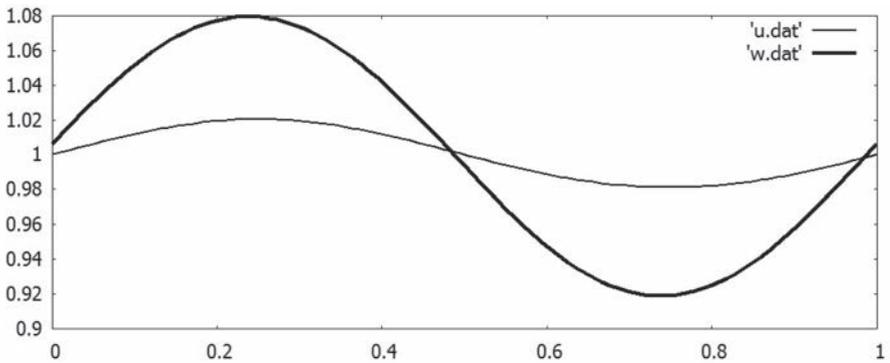


Рис. 2. Профили решения задачи $u(t, x)$, $w(t, x)$ для значения времени $t = 0,0125$

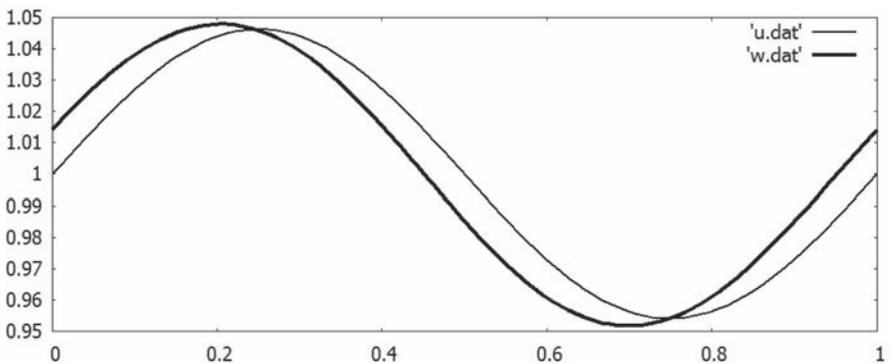


Рис. 3. Профили решения задачи $u(t, x)$, $w(t, x)$ для значения времени $t = 0,1$

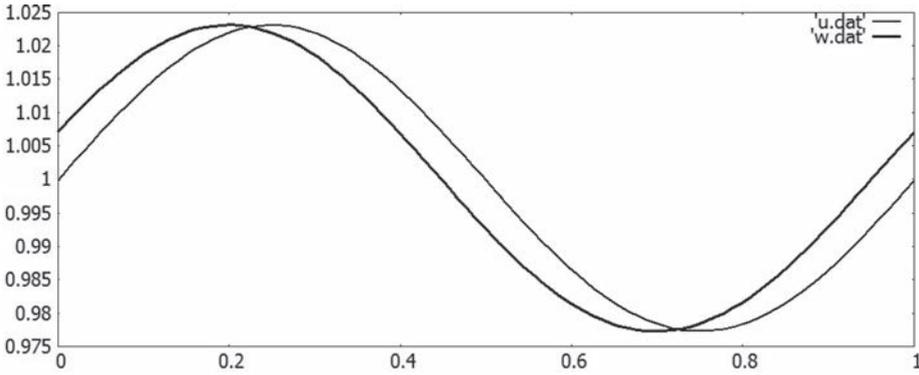


Рис. 4. Профили решения задачи $u(t, x), w(t, x)$ для значения времени $t = 0,75$

На рис. 5 представлено изменение максимумов модулей отклонений функций $u(t, x), w(t, x)$ от состояния равновесия $Du(t) = \max_{0 \leq x \leq 1} |u(t, x) - 1|$, $Dw(t) = \max_{0 \leq x \leq 1} |w(t, x) - 1|$ в зависимости от времени t . При $0 \leq t \leq t^*$ происходит быстрое увеличение максимума отклонения $Du(t)$ и такое же быстрое уменьшение максимума отклонения $Dw(t)$ вплоть до их совпадения. При $t \geq t^*$ максимумы модуля отклонения от состояния равновесия совпадают для $u(t, x), w(t, x)$ и стремятся к нулю при $t \rightarrow \infty$.

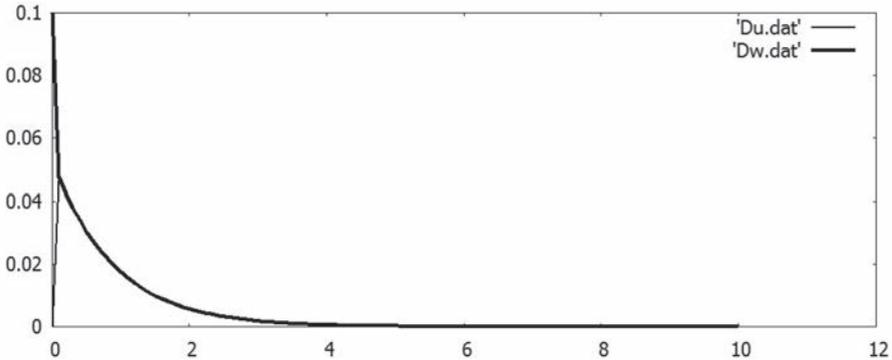


Рис. 5. Зависимость от времени t максимумов модулей отклонений решения от состояния равновесия $Du(t)$ и $Dw(t)$

На графике рис. 6 приведены зависимости от времени t максимумов модулей отклонений от положения равновесия для различных значений параметра ϵ . Кривые u_1 и w_1 соответствуют значению $\epsilon = 0,1$, кривые u_2 и w_2 — значению $\epsilon = 0,05$, кривые u_3 и w_3 — значению $\epsilon = 0,01$. На рисунке видно, что для любого фиксированного ϵ максимумы модулей отклонений $Du(t)$ и $Dw(t)$ симметричны относительно прямой параллельной оси Ot , $y = \max |u(t^*(\epsilon), x) - 1|$.

Время «перекачки энергии» (время выхода на равные максимумы модулей отклонения функций от положения равновесия) уменьшается с уменьшением параметра задачи ϵ . Зависимость времени $t^*(\epsilon)$ приведена на рис. 7, при рассмотренных значениях параметра ϵ зависимость является линейной.

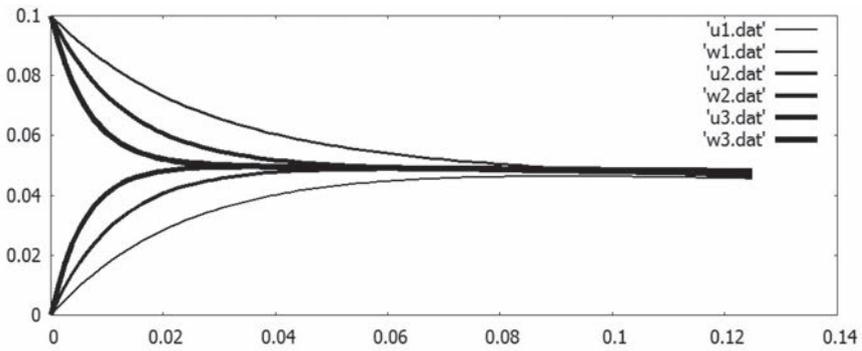


Рис. 6. Зависимости максимумов модулей отклонений для различных ϵ

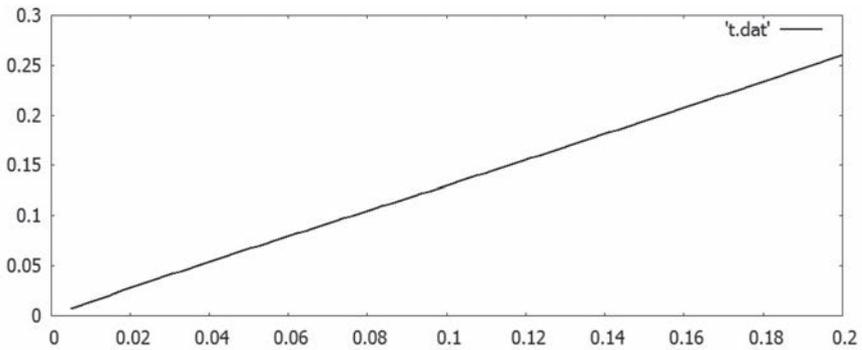


Рис. 7. Зависимость времени $t^*(\epsilon)$ от параметра ϵ

На рис. 8 для различных значений параметра задачи ϵ приведены зависимости от времени максимума модуля отклонения от состояния равновесия $Dw(t)$. Кривые $Dw1$, $Dw2$, $Dw3$ соответствуют следующим значениям параметра ϵ : 0,1; 0,05; 0,01.

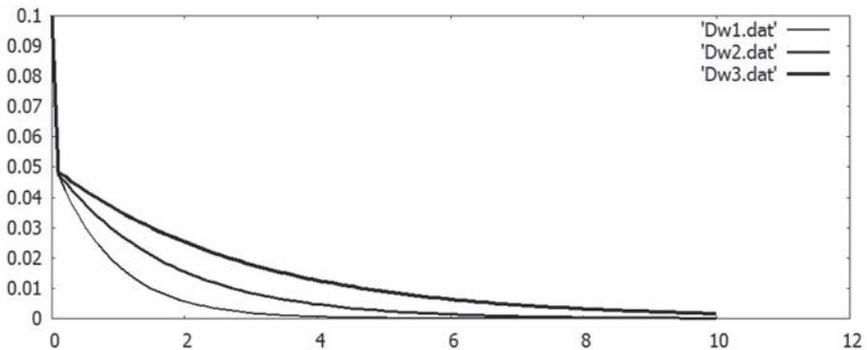


Рис. 8. Зависимости от времени $Dw(t)$ для различных значений ϵ

В [6] доказано, что решение задачи (1), (2) стремится к состоянию равновесия при $t \rightarrow \infty$. При $t \geq t^*(\epsilon)$ максимум модуля отклонения решения задачи от состояния равновесия монотонно стремится к нулю (см. рис. 8). При уменьшении параметра задачи ϵ время выхода на состояние близкое к состоянию равновесия (максимумы отклонений равны δ , $|Du(t)| = \delta$, $|Dw(t)| = \delta$) увеличивается.

На рис. 9 кривые t_1 , t_2 , t_3 , t_4 соответствуют следующим значениям δ : 0,01; 0,005; 0,0025; 0,001 соответственно. Значения отклонения от состояния равновесия составляют 10, 5, 2,5 и 1 % от начального возмущения. Полученные зависимости позволяют аналогично [16] проводить количественные сравнения результатов.

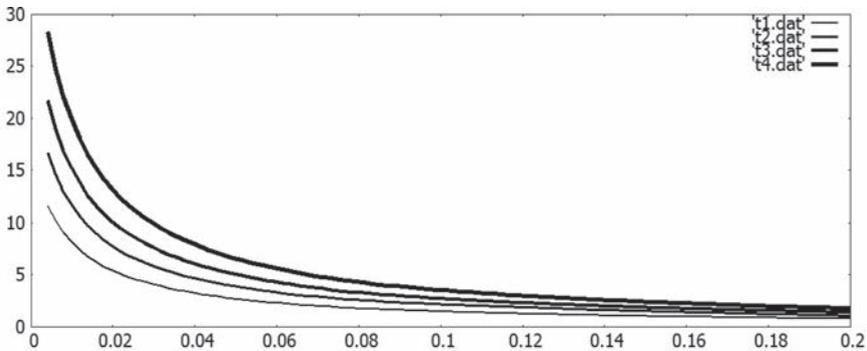


Рис. 9. Зависимость времени «стабилизации» решения

Рассмотрим задачу Коши (1), (2) для случая непериодических начальных условий [17]. Начальное условие для функции $u(t, x)$ имеет прежний вид $u^0(x) = 1$. Начальное условие для $w(t, x)$ в начальный момент времени отклоняется от состояния равновесия только при $0 \leq x \leq 1$. Возмущение от состояния равновесия совпадает с возмущением для периодического случая $w^0(x) = 1 + 0,1\sin(2\pi x)$.

Как и в случае периодических начальных условий вначале происходит быстрая «перекачка энергии» — формирование возмущения для $u(t, x)$. Время $t^*(\epsilon)$ для периодического и непериодического случаев одинаковое. При $t \geq t(\epsilon)$ происходит выход на состояние равновесия. На рис. 10 для различных значений параметра задачи ϵ приведены зависимости от времени максимума модуля отклонения от состояния равновесия $Dwn(t) = \max|w(t, x) - 1|$. Кривые $Dwn1$, $Dwn2$, $Dwn3$ соответствуют следующим значениям параметра ϵ : 0,1; 0,05; 0,01. Скорость уменьшения $Dwn(t)$ меньше, чем скорость уменьшения $Dw(t)$ для периодических начальных условий (см. рис. 8). Подробное исследование стремления решения для случая непериодических начальных условий к состоянию равновесия будет проведено в следующей статье.

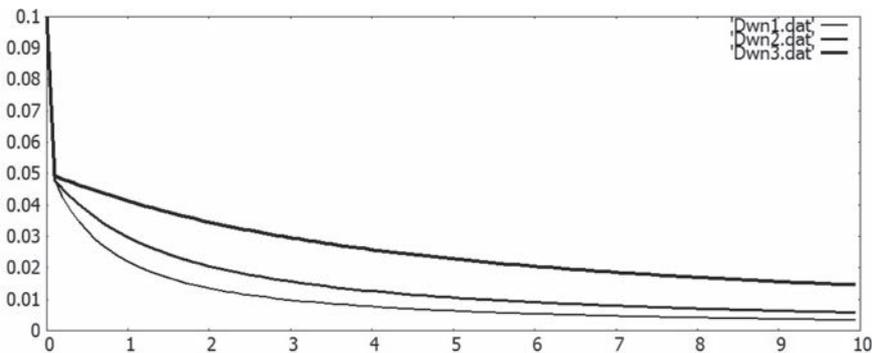


Рис. 10. Зависимости от времени $Dwn(t)$ для различных значений ϵ

Рассмотрим задачу Коши (1), (2) для случая начальных условий, являющихся стационарными нормальными случайными процессами. Математические ожидания $u^0(x)$ $w^0(x)$ равны 1, корреляционные функции $R(\tau) = 0,01e^{-10\tau}$. На рис. 11 приведены результаты численного исследования решения задачи $u(t, x)$, $w(t, x)$. Кривые $Us0$, $Ws0$ соответствуют значению $t = 0$, кривые $Us1$, $Ws1$ — значению $t = 0,14$. Кривые $Us1$, $Ws1$ имеют одинаковую форму и фазовый сдвиг, что свидетельствует о том, что процесс «обмена энергией» завершен. На рис. 12 приведена зависимость математического ожидания модуля отклонения $M1(t) = M|w(t, x) - 1|$. Вычисление математического ожидания проводилось методом, описанным в [18—20].

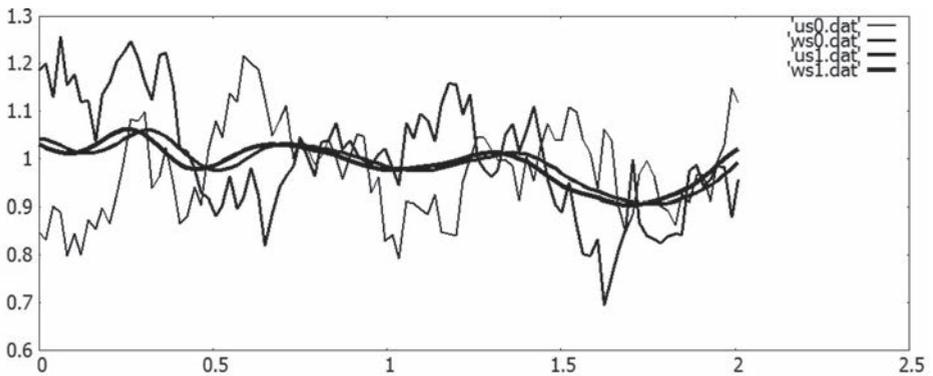


Рис. 11. Профили решения задачи $u(t, x)$, $w(t, x)$

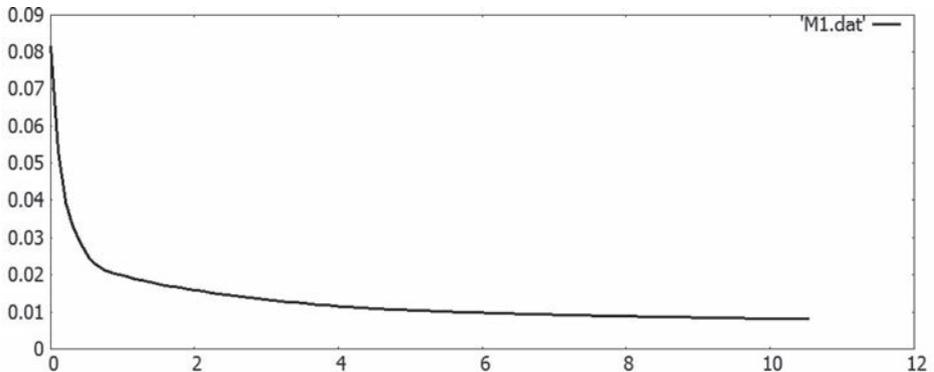


Рис. 12. Математическое ожидание модуля отклонения от t

Проведено численное исследование задачи Коши для системы уравнений Карлемана с различными начальными условиями. Приведены и обсуждаются результаты численного исследования зависимости величины времени «обмена энергией» и зависимости времени стабилизации решения для различных значений параметра модели.

Автор выражает признательность Е.В. Радкевичу за постановку задачи, полезные обсуждения и замечания.

Библиографический список

1. *Больцман Л.* Избранные труды. М. : Наука, 1984. 590 с. (Классики науки)

2. Годунов С.К., Султангазин У.М. О дискретных моделях кинетического уравнения Больцмана // Успехи математических наук. 1971. Т. 26. Вып. 3 (159). С. 3—51.
3. Радкевич Е.В. О дискретных кинетических уравнениях // Доклады Академии наук. 2012. Т. 447. № 4. С. 369—373.
4. Euler N., Steeb W.-H. Painleve test and discrete Boltzmann equations // Aust. J. Phys. 1989. Vol. 42. Pp. 1—10.
5. Radkevich E.V. The existence of global solutions to the Cauchy problem for discrete kinetic equations // Journal of Mathematical Science. 2012. Vol. 181. No. 2. Pp. 232—280.
6. Radkevich E.V., Vasil'eva O.A., Dukhnovskii S.A. Local equilibrium of the Carleman equation // Journal of Mathematical Science. 2015. Vol. 207. No. 2. Pp. 296—323.
7. Радкевич Е.В. О поведении на больших временах решений задачи Коши для двумерного дискретного кинетического уравнения // Современная математика. Фундаментальные направления. 2013. Т. 47. С. 108—139.
8. Аджиев С.З., Амосов С.А., Веденяпин В.В. Одномерные дискретные модели кинетических уравнений для смесей // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2004. Т. 44. № 3. С. 553—558.
9. Ильин О.В. Изучение существования решений и устойчивости кинетической системы Карлемана // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2007. Т. 47. № 12. С. 2076—2087.
10. Aristov V., Ilyin O. Kinetic model of the spatio-temporal turbulence // Phys. Let. A. 2010. Vol. 374. No. 43. Pp. 4381—4384.
11. Illner R., Reed M.C., Neunzert H. The decay of solutions of the Carleman model // Math. Methods Appl. Sci. 1981. Vol. 3 (1). Pp. 121—127.
12. Illner R., Reed M.C. Decay the equilibrium for the Carleman model in a box // SIAM J. Appl. Math. 1984. Vol. 44. No. 6. Pp. 1067—1075.
13. Aristov V.V. Direct methods for solving the Boltzmann equation and study of nonequilibrium flows. Kluwer Academic Publishing, 2001. 312 p.
14. Радкевич Е.В. Математические вопросы неравновесных процессов. Новосибирск : Изд. Т. Рожковская, 2007. 300 с. (Белая серия в математике и физике. Т. 4)
15. Ильин О.В. Стационарные решения кинетической модели Бродуэлла // Теоретическая и математическая физика. 2012. Т. 170. № 3. С. 481—488.
16. Фриштер Л.Ю. Анализ напряженно-деформированного состояния в вершине прямоугольного клина // Вестник МГСУ. 2014. № 5. С. 57—62.
17. Radkevich E.V. The existence of global solutions to the Cauchy problem for discrete kinetic equations (non-periodic case) // Journal of Mathematical Science. 2012. Vol. 184. No. 4. Pp. 524—556.
18. Васильева О.А. Исследование некоторых вероятностных характеристик решения задачи Коши для уравнения Бюргерса-Хаксли // Труды МАИ. 2014. Вып. 78. Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=53684>.
19. Васильева О.А. Программный модуль CORFUN 1.2-2 // Математика. Компьютер. Образование : тр. XVIII Междунар. конф. 2011. Вып. 18. С. 193.
20. Васильева О.А. Исследование вероятностных характеристик решения уравнения Бюргерса-Хаксли // Математика. Компьютер. Образование : тр. XXII Междунар. конф. 2015. Вып. 22. С. 130.

Поступила в редакцию в мае 2015 г.

Об авторе: **Васильева Ольга Александровна** — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, vasiljeva.ovas@yandex.ru.

Для цитирования: Васильева О.А. Численное исследование системы уравнений Карлемана // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 7—15.

O.A. Vasil'eva

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE CARLEMAN SYSTEM

In the article the Cauchy problem of the Carleman equation is considered. The Carleman system of equations is a model problem of the kinetic theory of gases. It is a discrete kinetic model of one-dimensional gas consisting of identical monatomic molecules. The molecules can have one of two speeds, which have equal values and opposite directions. This system of the equations is quasi-linear hyperbolic system of partial differential equations. There is no analytic solution for this problem in general case. So, the numerical investigation of the Cauchy problem of the Carleman system solution is very important.

The paper presents and discusses the results of the numerical investigation of the Cauchy problem for the studied system solution with periodic initial conditions. The dependence of the stabilization time of the solution and the time dependence of energy exchange from small parameter are obtained.

The second point of the paper is numerical investigation of the solution of the Cauchy problem with non-periodic initial conditions. The solution stabilization to the equilibrium state is obtained. The solution stabilization time is compared with stabilization time in periodic case.

The final point of the paper is numerical investigation of the Cauchy problem with stationary normal processes as initial conditions. The solution to this problem is two stationary stochastic processes for any fixed value of time variable. As a rule, the practical interest is not a stochastic solution but its statistical characteristics. The stochastic solution realization is presented and discussed. The dependence of the mathematical expectation of the solution deviation modulus from equilibrium state is obtained. It demonstrates the process of the solution stabilization.

Key words: kinetic gas theory, Carleman model, finite-difference method, solution quasi-linear hyperbolic equation, stochastic processes, solution stabilization.

References

1. Bol'tsman L. *Izbrannye trudy* [Selected Works]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 590 p. (Classics of Science) (In Russian)
2. Godunov S.K., Sultangazin U.M. O diskretnykh modelyakh kineticheskogo uravneniya Bol'tsmana [On Discrete Models of Boltzmann Kinetic Equation]. *Uspekhi Matematicheskikh Nauk* [The Success of Mathematical Sciences]. 1971, vol. 26, no. 3 (159), pp. 3—51. (In Russian)
3. Radkevich E.V. O diskretnykh kineticheskikh uravneniyakh [On Discrete Kinetic Equations]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences]. 2012, vol. 447, no. 4, pp. 369—373. (In Russian)
4. Euler N., Steeb W.-H. Painleve Test and Discrete Boltzmann Equations. *Aust. J. Phys.* 1989, vol. 42, pp. 1—10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/PH890001>.
5. Radkevich E.V. The Existence of Global Solutions to the Cauchy Problem for Discrete Kinetic Equations. *Journal of Mathematical Science*. 2012, vol. 181, no. 2, pp. 232—280. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10958-012-0683-9>.
6. Radkevich E.V., Vasil'eva O.A., Dukhnovskii S.A. Local Equilibrium of the Carleman Equation. *Journal of Mathematical Science*. 2015, vol. 207, no. 2, pp. 296—323.
7. Radkevich E.V. O povedenii na bol'shikh vremenakh resheniy zadachi Koshi dlya dvumernogo diskretnogo kineticheskogo uravneniya [The Behavior of Cauchy Problem Solutions for Two-Dimensional Discrete Kinetic Equation at Large Times]. *Sovremennaya matematika. Fundamental'nye napravleniya* [Contemporary Mathematics. Fundamental Directions]. 2013, vol. 47, pp. 108—139. (In Russian)