

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

4 (352)

OCTOBER – DECEMBER 2024

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы, ақпараттық жүйелер мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D), ҚР БҒМ Ғылым комитеті «Ақпараттық және есептеуші технологиялар институты» РМК жауапты хатшысы (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сатпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), **Н=23**

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

QUEVEDO Nemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), **Н=5**

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан), **Н=26**

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), **Н=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=12**

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), Нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), **Н=26**

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика және информатика сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика және ақпараттық коммуникациялық технологиялар сериясы*. Қазіргі уақытта: *«ақпараттық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

Тиражы: *300 дана.*

Редакцияның мекен-жайы: *050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19*
http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан), **H=5**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, доктор философии (PhD) по специальности Информационные системы, ответственный секретарь РГП «Института информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МОН РК (Алматы, Казахстан), **H=5**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), **H=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (Алматы, Казахстан), **H=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), **H=23**

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **H=10**

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), **H=28**

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **H=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), **H=5**

РАМАЗАНОВ Тлексабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **H=26**

ТАКИБАЕВ Нургали Жаббаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **H=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), **H=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), **H=10**

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **H=12**

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), **H=26**

«Известия НАН РК. Серия физика и информатики».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан **№ 16906-Ж** выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *серия физика и информационные коммуникационные технологии.* В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных ККСОН МОН РК по направлению «информационные коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раз в год.*

Тираж: *300 экземпляров.*

Адрес редакции: *050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

EDITOR IN CHIEF:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

MAMYRBAYEV Orken Zhumazhanovich, Ph.D. in the specialty "Information systems, executive secretary of the RSE "Institute of Information and Computational Technologies", Committee of Science MES RK (Almaty, Kazakhstan) **H=5**

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), **H=3**

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland), **H=23**

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), **H=28**

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), **H=5**

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=26**

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), **H=42**

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=12**

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), **H=26**

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Series of physics and informatics.

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. 16906-ЖК**, issued 14.02.2018
Thematic scope: *series physics and information technology.*

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MES RK in the direction of «information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

Circulation: *300 copies.*

Editorial address: *28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

УДК 539.3

A.L. Alexeyeva, 2024.

Institute of Mathematics and Mathematical Modeling of the Ministry of Education
and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: alexeeva@math.kz

SUBSONIC VIBROTRANSPORT SOLUTIONS OF THE WAVE EQUATION IN SPACES OF DIMENSION $N=1,2,3$

Alexeyeva Lyudmila Alexeyevna – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Institute of Mathematics and Mathematical Modeling of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan, alexeeva@math.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7131-4635>

Abstract. Among the active sources of disturbances in various environments, the most common are transport and vibrotransport ones, which are associated with moving objects, the speed of which can be subsonic, sonic, supersonic, and in environments with several sonic speeds (elastic, for example) also transonic. Here, fundamental and regular vibrotransport solutions of the wave equation are constructed at subsonic speeds of the disturbance source in spaces of physical dimension ($N=1, 2, 3$). Green's functions are constructed, which describe the dynamics of the medium during the movement of a source concentrated at a point, which moves at a constant speed and vibrates at a constant frequency. On its basis, general solutions of the vibration transport equation are constructed under the action of both spatially distributed moving vibration sources and concentrated on moving surfaces and lines. A mathematical description of the Doppler Effect with a graphical illustration is given.

The constructed solutions allow us to construct solutions to many equations of continuum mechanics for studying wave processes generated by various types of moving sources of oscillations in media and should find wide application in solving various engineering and technical problems.

Keywords: wave equation, vibration transport solutions, Green's function, Fourier transform, Helmholtz equation, Doppler effect

А.Л. Алексеева, 2024.

ҚР БЖҒМ, Математика және модельдеу институты, Алматы, Қазақстан.
E-mail: alexeeva@math.kz

N=1,2,3 ӨЛШЕМДІ КЕҢІСТІГІНДЕГІ ТОЛҚЫНДЫҚ ТЕНДЕУДІҢ ДЫБЫСҚА ДЕЙІНГІ ДІРЛКӨЛІКТІК ШЕШІМДЕРІ

Алексеева Людмила Алексеевна – физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Математика және математикалық модельдеу институтының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, alexeeva@math.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7131-4635>.

Аннотация. Эртүрлі орталардағы бұзылулардың белсенді көздерінің ішінде ең көп тарағаны көліктік және дірілді тасымалдау болып табылады, олар жылдамдығы дыбыстық, дыбыстан жоғары болуы мүмкін қозғалатын объектілермен байланысты және бірнеше дыбыстық жылдамдықтары (мысалы, серпімді) және трансоникалық болуы мүмкін. Мұнда толқындық теңдеудің іргелі және тұрақты діріл тасымалдау шешімдері физикалық өлшемді кеңістіктердегі ($N=1,2,3$) бұзылулар көзінің дыбыстан төмен жылдамдықтарында құрастырылған. Грин функциялары тұрақты жылдамдықпен қозғалатын және тұрақты жиілікте тербелетін нүктеде шоғырланған көз ортасының динамикасын сипаттау үшін құрастырылған. Олардың негізінде дірілді тасымалдау теңдеуінің жалпы шешімдері кеңістікте таралған қозғалатын діріл көздерінің де, қозғалатын беттер мен сызықтарда шоғырланғандардың да әрекетінен құрастырылады. Графикалық иллюстрациямен Доплер эффектінің математикалық сипаттамасы берілген. Құрастырылған шешімдер ортадағы тербелістердің эртүрлі түрлерінің қозғалатын көздерімен туатын толқындық процестерді зерттеу үшін континуум механикасының көптеген теңдеулерінің шешімдерін құруға мүмкіндік береді және эртүрлі инженерлік есептерді шешуде кең қолдануды табуы керек.

Түйін сөздер: толқын теңдеуі, дірілді тасымалдау шешімдері, Грин функциясы, Фурье түрлендіруі, Гельмгольц теңдеуі, Доплер эффектісі.

Л.А. Алексеева, 2024.

Институт математики и математического моделирования МНВО РК,
Алматы, Казахстан.
E-mail: alexeeva@math.kz

ДОЗВУКОВЫЕ ВИБРОТРАНСПОРТНЫЕ РЕШЕНИЯ ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВАХ РАЗМЕРНОСТИ N=1,2,3

Алексеева Людмила Алексеевна – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института математики и математического моделирования МНВО РК, Алматы, Казахстан, E-mail: alexeeva@math.kz, <https://orcid.org/0000-0002-7131-4635>.

Аннотация. Среди активных источников возмущений в различных средах наиболее распространены транспортные и вибротранспортные,

которые связаны с движущимися объектами, скорость которых может быть дозвуковой, звуковой, сверхзвуковой, а в средах с несколькими звуковыми скоростями (упругих) и транзвуковой. Здесь построены фундаментальные и регулярные вибротранспортные решения волнового уравнения при дозвуковых скоростях источника возмущений в пространствах физической размерности ($N=1,2,3$). Построены функции Грина, описывающие динамику среды сосредоточенного в точке источника, который движется с постоянной скоростью и колеблется с постоянной частотой. На их основе построены общие решения вибротранспортного уравнения при действии как пространственно распределённых движущихся источников вибраций, так и сосредоточенных на движущихся поверхностях и линиях. Дано математическое описание эффекта Доплера с графической иллюстрацией.

Построенные решения позволяют строить решения многих уравнений механики сплошной среды для изучения волновых процессов, порождаемых разного вида движущимися источниками колебаний в средах, и должны найти широкое применение при решении различных инженерно-технических задач.

Ключевые слова: волновое уравнение, вибротранспортные решения, функция Грина, преобразование Фурье, уравнение Гельмгольца, эффект Доплера.

Работа выполнена при финансовой поддержке КН МНВО РК (грант AP19674789, 2023-2025 гг.)

Введение. Среди действующих источников возмущений в различных средах наиболее распространены транспортные, которые связаны с движущимися источниками (нагрузками), форма которых не меняется с течением времени, а скорость движения может быть дозвуковой, звуковой, сверхзвуковой, а в средах с несколькими звуковыми скоростями (упругие) еще и транзвуковой. В работах (Алексеева, 2008; Alekseeva, 1991, 1994, 1998; Alexeyeva, 2010, 2016, 2017) построены транспортные решения волновых уравнений и уравнений теории упругости во всем диапазоне скоростей, и, на основе метода обобщённых функций, разработан метод граничных интегральных уравнений для решения стационарных транспортных дозвуковых и сверхзвуковых краевых задач в областях с цилиндрической формой границ. Отметим, что число работ по исследованию воздействия транспортных нагрузок на окружающую среду в последние десятилетия растёт в связи с интенсивным строительством высокоскоростных дорожных и подземных транспортных магистралей и имеет довольно обширную библиографию, с которой можно ознакомиться в статьях и монографиях (Sheng, 1999; Egger, 2000; Hoop, 2002, Brezhnev, 2005; Украинец, и др., 2006).

Есть ещё один очень важный для приложений класс источников возмущений (действующих сил и нагрузок), которые не только движутся с различными скоростями, но еще и пульсируют (вибрируют, колеблются) с определенной частотой. В качестве примера можно привести различные электромагнитные излучатели, движущиеся элементарные частицы, подвижный вибротранспорт и т.п. Поэтому актуальным является математическое моделирование таких

процессов с учетом вида источника, скорости его движения и частоты вибрации. Класс таких модельных задач рассматривается в данной работе.

Ключевую роль при разработке МОФ и МГИУ для решения краевых задач для уравнений математической физики играют фундаментальные решения, поскольку служат основой для построения ядер интегральных уравнений и интегральных представлений решений краевых задач. Здесь строятся фундаментальные и регулярные вибротранспортные решения волнового уравнения при дозвуковых, сверхзвуковых и звуковых скоростях движения источника возмущений. Построены функции Грина, которые описывают динамику среды при движении сосредоточенного в точке виброисточника, и на его основе общие решения вибротранспортного уравнения при действии как распределенных в пространстве движущихся виброисточников, так и сосредоточенных на движущихся поверхностях и линиях.

Построенные решения позволяют строить решения многих уравнений механики сплошных сред для такого типа движущихся источников возмущений в средах и имеют обширные применения при решении различных инженерно-технических задач.

Материалы и методы.

1. Волновое уравнение Даламбера и его свойства. Рассматривается многомерный аналог уравнения Даламбера:

$$\square_c u \equiv \Delta u - c^{-2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = g(x, t), \quad x \in R^N, \quad t \in R^1. \quad (1)$$

Здесь \square_c - волновой оператор, Δ - оператор Лапласа, G -- локально интегрируемая функция.

Уравнение (1.1) строго гиперболическое, класс его решений содержит разрывные по производным функции. Поверхности разрыва в $R^{N+1}(F)$ – это характеристические поверхности уравнения (1), которые удовлетворяют характеристическому уравнению в пространстве (Петровский И.С., 1961) $R^{N+1} = \{(x, \tau \equiv ct)\}$:

$$v_\tau^2 = \sum_{j=1}^N v_j^2 \quad (2)$$

где $v(x, \tau) = (v_1, \dots, v_N, v_\tau)$ - вектор нормали к F , $\tau = ct$. Ему соответствует конус характеристических нормалей - *световой* конус, для которого $v_\tau = v_{N+1} < 0$ [1,2]. В R^N такие поверхности движутся с единичной скоростью по τ :

$$1 = -v_\tau / \|v\|_N, \quad \|v\|_N = \sqrt{v_j v_j} \quad (3)$$

(по повторяющимся индексам i, j в произведении здесь и далее всюду проводится суммирование от 1 до N). В пространстве R^N им соответствуют

волновые фронты (F_t), движущиеся со скоростью c по времени t . На них выполняются условия непрерывности Адамара:

$$\left[u(x, t) \right]_{F_t} = 0, \quad \left[\dot{u} \right]_{F_t} = -cn_i \left[u_{,i} \right]_{F_t}, \quad (4)$$

где через $\left[f(x, t) \right]_{F_t}$ обозначен скачок f на F_t :

$$\left[f(x, t) \right]_{F_t} = f^+(x, t) - f^-(x, t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow +0} (f(x + \varepsilon n, t) - f(x - \varepsilon n, t)), \quad x \in F_t,$$

$n(x, t)$ – единичный вектор нормали к F_t , направленный в сторону распространения фронта волны:

$$n_i = \frac{v_i}{\|v\|_N} = \frac{\text{grad } F_t}{\|\text{grad } F_t\|}, \quad i = 1, \dots, N; \quad (5)$$

Последнее равенство справедливо, если уравнение фронта волны можно представить в виде $F_t(x, t) = 0$ при условии существования $\text{grad } F_t$.

Класс подобных решений гиперболических уравнений называют *ударными* волнами, на их фронтах производные функций и даже сами функции могут терпеть скачки.

Из второго условия (1.4) следует, на фронтах

$$\dot{u}^- + cn_i u_{,i}^- = \dot{u}^+ + cn_i u_{,i}^+ \quad (6)$$

Если перед фронтом волны $u \equiv 0$ (среда в покое), это равенство дает полезное соотношение на фронте волны:

$$(\text{grad } u, n) = -c^{-1} \dot{u}, \quad x \in F_t$$

Заметим, что касательные производные к характеристической поверхности, в силу непрерывности u , также непрерывны, т.е.

$$\gamma_\tau \left[u_{,\tau} \right]_F = -\gamma_j \left[u_{,j} \right]_F \quad \text{для} \quad \forall \gamma: (v, \gamma) = 0. \quad (7)$$

В частности, если $\gamma = \gamma^j = (-v_j, v_\tau \delta_1^j, v_\tau \delta_2^j, v_\tau \delta_2^j)$, это приводит к условиям вида:

$$\left[-u_{,\tau} v_j + u_{,j} v_\tau \right]_F = 0 \Rightarrow n_j \left[\dot{u} \right]_{F_t} = c \left[u_{,j} \right]_{F_t} \quad (8)$$

Решения волнового уравнения (1.1), удовлетворяющие условиям на фронтах ударных волн, далее называем *классическими*.

2. Постановка вибротранспортной задачи.

Определение 1. Назовем функцию источника $g(x,t)$ вибротранспортной, если она представима в виде

$$g(x,t) = g(x_1, x_2, x_3 - Vt)e^{i\omega t} \quad (9)$$

где V - скорость движения источника вдоль оси X_3 , ω - частота его колебаний, $\omega > 0$. При $\omega = 0$ нагрузка *транспортная*.

Если правая часть волнового уравнения (1) имеет вид (9), то естественно искать решение в подобном виде:

$$u(x,t) = u(x_1, x_2, x_3 - vt)e^{i\omega t}. \quad (10)$$

Для этого перейдем в подвижную систему координат $(x_1, x_2, z = x - M\tau)$, $\tau = ct$, $M = V/c$ - число Маха. Назовем источник *дозвуковым*, если $M < 1$, *сверхзвуковым*, если $M > 1$, и *звуковым*, если $M = 1$.

В новой системе координат решение имеет вид:

$$u = u(x_1, x_2, z)e^{i\omega\tau}, \quad w = \omega/c$$

Тогда, как следует из (1) амплитуда колебаний является решением вибротранспортного уравнения (ВТУ):

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + (1 - M^2) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + 2i\omega M \frac{\partial u}{\partial z} + w^2 u = g(x, z), \quad x \in R^2, z \in R^1 \quad (11)$$

Обозначим $m = \sqrt{|1 - M^2|}$. Тогда, в зависимости от скорости источника, имеем три разных уравнения: при $M < 1$ *дозвуковое эллиптическое*

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + m^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + 2i\omega M \frac{\partial u}{\partial z} + w^2 u = g(x, z), \quad x \in R^2, z \in R^1; \quad (12)$$

при $M > 1$ - *сверхзвуковое гиперболическое*

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} - m^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + 2i\omega M \frac{\partial u}{\partial z} + w^2 u = g(x, z), \quad x \in R^2, z \in R^1; \quad (13)$$

при $M = 1$ - *звуковое параболическое*

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + 2i\omega M \frac{\partial u}{\partial z} + w^2 u = g(x, z), \quad x \in R^N, z \in R^1. \quad (14)$$

Требуется построить решение этих уравнений при любых правых частях из класса обобщенных функций медленного роста $S'(R^3)$ (Владимиров В.С., 1978, 1986).

3. Фундаментальные решения. Преобразование Фурье.

Для построения решений уравнения (14), построим функцию Грина – фундаментальное решение $U(x,z)$ этого уравнения с дельта-функцией в правой части:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial x_2^2} + (1-M^2) \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + 2i w v \frac{\partial U}{\partial z} + w^2 U = \delta(x) \delta(z), \quad x \in R^N, z \in R^1 \quad (15)$$

которое удовлетворяет определенным условиям затухания на бесконечности, различные для каждого случая. И далее, используя свойство функции Грина, построим решения ВТУ для подвижных виброисточников, распределенных в ограниченных объемах, либо сосредоточенных на криволинейных линиях.

Для построения решений используем преобразование Фурье обобщенных функций, которое для суммируемых регулярных обобщенных функций совпадает с классическим преобразованием Фурье (Владимиров, 1986):

$$\bar{f}(\xi, \zeta) = \int_R f(x, z) \exp(i(x_1 \xi_1 + x_2 \xi_2 + z \zeta)) dx_1 dx_2 dz \quad (16)$$

$$f(x, z) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_R \bar{f}(\xi, \zeta) \exp(-i(x_1 \xi_1 + x_2 \xi_2 + z \zeta)) d\xi_1 d\xi_2 d\zeta$$

Тогда из (15) получим

$$-\left(\|\xi\|^2 + (1-M^2)\zeta^2 - 2wv\zeta - w^2\right) \bar{U} = 1, \quad \xi \in R^N, \zeta \in R^1$$

Откуда следует:

$$\text{при } M < 1 \quad \bar{U} = -\frac{1}{\|\xi\|^2 + m^2 \zeta^2 - 2wM\zeta - w^2}, \quad (17)$$

$$\text{при } M > 1 \quad \bar{U} = -\frac{1}{\|\xi\|^2 - m^2 \zeta^2 - 2wM\zeta - w^2}, \quad (18)$$

$$\text{при } M = 1 \quad \bar{U} = -\frac{1}{\|\xi\|^2 - 2w\zeta - w^2}, \quad (19)$$

Здесь в статье рассмотрим дозвуковой случай. Вид оригинала зависит от размерности пространства, в котором это уравнение рассматривается. Здесь построим $U(x, z)$ для пространств физической размерности $N=3, 2, 1$

4. Решения вибротранспортного уравнения при движении регулярных и сингулярных виброисточников в 3D пространстве.

4.1. Функция Грина $N=3$. Построим функцию Грина $U(x,z)$ - фундаментальное решение ВТУ (12), удовлетворяющее условиям излучения

на бесконечности. Для этого найдем преобразование $U(x, z) = F^{-1}[\bar{U}(\xi, \zeta)]$, используя свойство линейных преобразований координат в пространстве преобразований Фурье.

Л е м м а 1. Для $N=3$

$$\begin{aligned} U(x, z) &= -\frac{1}{(2\pi)^3} \int_{R^3} \frac{e^{-i\zeta z} e^{-i(\xi, x)}}{\|\xi\|^2 + m^2 \zeta^2 - 2wM\zeta - w^2} d\xi_1 d\xi_2 d\zeta = \\ &= -\frac{e^{-i(wMz/m^2)}}{(2\pi)^3 m} \int_{R^3} \frac{e^{-i\zeta z/m} e^{-i(\xi, x)}}{\|\xi\|^2 + \zeta^2 - (w/m)^2} d\xi_1 d\xi_2 d\zeta. \end{aligned}$$

Доказательство: при $M < 1$ преобразуем (17) к виду, удобному для построения оригинала:

$$\bar{U}(\xi, \zeta) = -\frac{1}{\|\xi\|^2 + m^2 \zeta^2 - 2wM\zeta - w^2} = -\frac{1}{\|\xi\|^2 + m^2 (\zeta - wM/m^2)^2 - (w/m)^2} \quad (20)$$

$$= -\frac{e^{-i(wMz/m^2)}}{(2\pi)^N} \int_{R^3} \frac{e^{-i\zeta z} e^{-i(\xi, x)}}{\|\xi\|^2 + m^2 \zeta^2 - (w/m)^2} d\xi_1 d\xi_2 d\zeta = \quad (21)$$

$$= -\frac{e^{-i(wMz/m^2)}}{(2\pi)^N m} \int_{R^3} \frac{e^{-i\zeta z/m} e^{-i(\xi, x)}}{\|\xi\|^2 + \zeta^2 - (w/m)^2} d\xi_1 d\xi_2 d\zeta$$

Здесь использовали замену переменных $\zeta = m(\zeta + wM/m^2)$. Заметим, что здесь под знаком интеграла стоит преобразование Фурье фундаментального решения трёхмерного уравнения Гельмгольца:

$$\Delta W + k^2 W = \delta(y), \quad k = \frac{w}{m}, \quad y \in R^3,$$

Решение этого уравнения, удовлетворяющее условиям излучения Зоммерфельда, имеет следующий вид (Владимиров В.С., 1986):

$$W(y) = \frac{\exp(-ik\|y\|)}{4\pi\|y\|}, \quad y \in R^3. \quad (22)$$

Его преобразование Фурье имеет вид

$$\bar{W} = -\frac{1}{\|\xi\|^2 + \zeta^2 - (k + i0)^2}, \quad y \in R^3. \quad (23)$$

Из формулы (20) с учетом (22) и (23) следует:

$$\text{для } N=3 \quad U(x, z) = U(x_1, x_2, z) = -\frac{e^{-iwm^2 Mz}}{4\pi\sqrt{z^2 + m^2 r^2}} \exp\left(-\frac{iw}{m^2} \sqrt{z^2 + m^2 r^2}\right). \quad (24)$$

4.2. Решения однородного ВТУ при $N=3$. Теперь построим решения однородного ВТУ:

$$\frac{\partial^2 u^0}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u^0}{\partial x_2^2} + 2i wM \frac{\partial u^0}{\partial z} + w^2 u^0 =, \quad x \in R^2, z \in R^1; \quad (25)$$

В пространстве преобразований Фурье, оно имеет вид:

$$-\left(\|\xi\|^2 + (1-M^2)\zeta^2 - 2wv\zeta - w^2\right)\bar{u}^0 = 0 \quad \xi \in R^N, \zeta \in R^1 \quad (26)$$

Решение этого уравнения $\bar{u}^0 = \alpha(\xi, \zeta)\delta_S(\xi, \zeta)$ - сингулярная обобщенная функция – простой слой на поверхности S, на которой

$$\left(\|\xi\|^2 + (1-M^2)\zeta^2 - 2wv\zeta - w^2\right) = \|\xi\|^2 + m^2\left(\zeta - wM/m^2\right)^2 - (w/m)^2 = 0. \quad (27)$$

Здесь плотность простого слоя $\alpha(\xi, \zeta)$ - произвольная интегрируемая на S функция.

Соответственно

$$u^0(x, z) = \int_S \alpha(\xi, \zeta) e^{-i(\xi, x)} e^{-i\zeta z} dS(\xi, \zeta), \quad \xi = (\xi_1, \xi_2) \quad (28)$$

Заметим, что уравнение (28) – это уравнение эллипсоида с центром в точке $(0, 0, \zeta = wM/m^2)$:

$$\|\xi\|^2 + m^2\zeta^2 = (w/m)^2, \quad \zeta = \zeta - wM/m^2. \quad (29)$$

Для построения $u^0(x, z)$ можно также использовать решения однородного уравнения Гельмгольца:

$$\Delta u^0(y) + k^2 u^0(y) = 0. \quad (30)$$

Его решения можно разложить в ряды по сферическим гармоникам и сферическим функциям Бесселя (М. Абрамовиц, 1979):

$$\begin{aligned} u(y) &= \sum_{n,m} a_n j_n(k\|y\|) P_n^m(\cos\theta) e^{im\varphi} = \sum_{n,m} a_n j_n(k\|y\|) P_n^m\left(\frac{y_3}{\|y\|}\right) (\cos\varphi + i\sin\varphi)^m = \\ &= \sum_{n,m} a_n \frac{j_n(k\|y\|)}{\|y\|_2^m} P_n^m\left(\frac{y_3}{\|y\|}\right) (y_1 + iy_2)^m, \quad \|y\|_2 = \sqrt{y_1^2 + y_2^2} \end{aligned} \quad (30)$$

Здесь $P_n^m(\cos\theta)$ - присоединенные полиномы Лежандра, θ, φ угловые сферические координаты. Из формул (21) следует $y = (x, z/m)$

$$u^0(x, z) = e^{-i(wMz/m^2)} \sum_{n,l} a_n j_n\left(\frac{w}{c}\sqrt{z^2 + m^2 r^2}\right) P_n^l\left(\frac{z}{\sqrt{z^2 + \mu^2 r^2}}\right) \frac{(x_1 + ix_2)^l}{r^l}, \quad (31)$$

где $r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$, коэффициенты a_n произвольные комплексные числа.

4.3. Общее решение ВТУ при $N=3$. Докажем следующую теорему.

Теорема 1. Решение ВТУ (12) в 3D-пространстве имеет следующий вид:

$$u(x, z) = U(x, z) * g(x, z) + u^0(x, z). \quad (33)$$

Если $g(x, z)$ - регулярная функция и $g(x, z) \in L_1(R^3)$, то

$$U(x, z) * g(x, z) = \int_{R^3} U(x-y, z-h) g(y, h) dy_1 dy_2 dh. \quad (34)$$

Если $g(x, z)$ - сосредоточенная на поверхности S сингулярная функция:
 $g(x, z) = \alpha(x, z) \delta_S(x, z)$, $\alpha(x, z) \in L_1(S)$, то

$$U(x, z) * g(x, z) = \int_S U(x-y, z-h) g(y, h) dS(y, h) \quad (35)$$

Если $g(x, z)$ - сосредоточенная на кривой l сингулярная функция:
 $g(x, z) = \beta(x, z) \delta_l(x, z)$, $\beta(x, z) \in L_1(l)$, то

$$U(x, z) * g(x, z) = \int_l U(x-y, z-h) g(y, h) dl(y, h) \quad (36)$$

Доказательство. Обозначим $VT(\partial_1, \partial_2, \partial_z)$ дифференциальный оператор ВТУ (12). Подставляя (33) в (12), получим требуемое:

$$\begin{aligned} & VT(\partial_1, \partial_2, \partial_z) \left(U(x, z) * g(x, z) + u^0(x, z) \right) = \\ & = \{ VT(\partial_1, \partial_2, \partial_z) U \} * g + VT(\partial_1, \partial_2, \partial_z) u^0 = \\ & = \delta(x, z) * g + 0 = g(x, z) \end{aligned}$$

Здесь использовали линейность оператора, (15), (25) и свойство свёртки с дельта-функцией (Владимиров В.С., 1978).

Если $u1(x, z)$ - любое решение (12), то $u2(x, z) = u(x, z) - u1(x, z)$ является решением однородного ВТУ (25). Следовательно $u1(x, z) = u(x, z) - u2(x, z)$. Т.е. имеет аналогичный $u(x, z)$. Ч. т. д.

4.5. Эффект Доплера. Обозначим $r/z = \operatorname{tg} \varphi(x, z)$, где φ - угол, который образует радиус-вектор точки (x, z) с осью Z . тогда функцию Грина можно записать в виде:

$$U(x, z) = -\frac{1}{4\pi\sqrt{z^2 + m^2 r^2}} \exp\left(-i\alpha z \left(M + \sqrt{1 + m^2 \operatorname{tg}^2 \varphi(x, z)}\right)\right)$$

Вдоль оси X_3 , как видим, распространяется волна вида

$$\varphi(x_1, x_2, x_3, t) = -\frac{1}{4\pi|x_3 - Vt|} \exp\left(i\omega\left(t - \frac{(M+1)|x_3 - Vt|}{cm^2}\right)\right).$$

Если фиксировать точку наблюдения (x_1, x_2, x_3) и измерить приходящий по времени сигнал в этой точке, то он описывается функцией:

$$U(x, x_3, t) = U(x, x_3 - vt)e^{i\omega t} = -\frac{e^{-i\alpha M(x_3 - Vt) + i\omega t}}{4\pi\sqrt{(x_3 - Vt)^2 + m^2 r^2}} \exp\left(-i\alpha\sqrt{(x_3 - Vt)^2 + m^2 r^2}\right) =$$

$$= -\frac{\exp\left(-i\alpha\left(Mx_3 + \sqrt{(x_3 - Vt)^2 + m^2 r^2}\right)\right)}{4\pi\sqrt{(x_3 - Vt)^2 + m^2 r^2}} e^{i\omega t(1 - (M/m)^2)}.$$

На рисунке 1 представлена реальная и мнимая части $U(x, z)$ при числе Маха $M=0.1$ и частотах $\omega = 1$ и $\omega = 10$. В подвижной системе координат частота колебаний

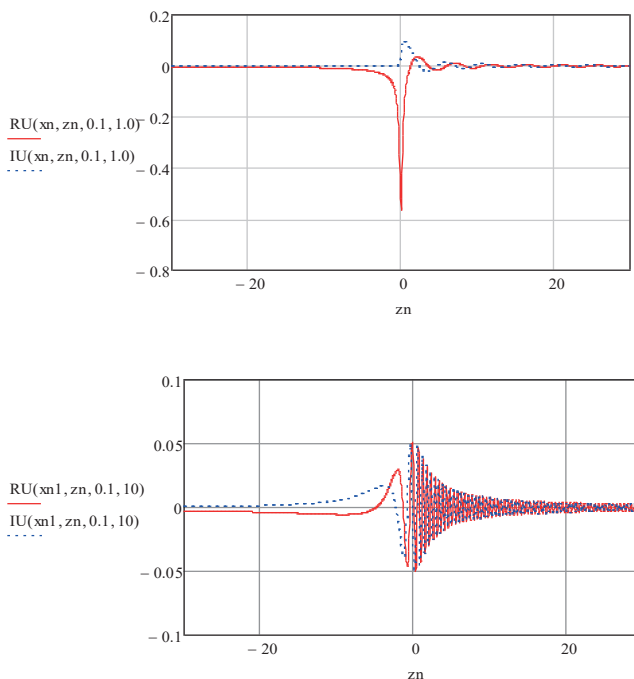


Рисунок 1- $U(x, z)$ при $M=0.1, \omega = 1; 10$

А в исходной неподвижной системе координат (x_1, x_2, x_3) картина иная. На Рис. 2 представлена осциллограмма сигнала в фиксированной точке на оси X_3 с течением времени $t=t_n$ при числе Маха $M=0.8$ и частоте вибрации $\omega = 10$.

Она наглядно демонстрирует повышение частоты и амплитуды вибрации при приближении виброисточника и наоборот их понижения при его удалении.

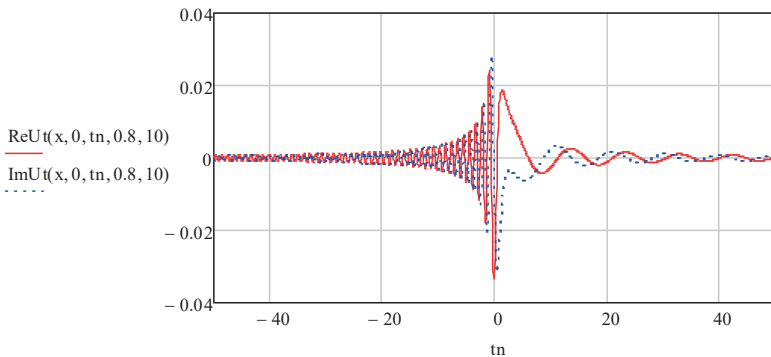


Рисунок 2 - Оциллограмма $U(x, 0, t)$ при $M=0.8$ и $\omega=10$

Как хорошо известно, давление в воздухе удовлетворяет волновому уравнению (Гринченко, 2007). Это явление получило название *эффекта Доплера* – повышение тона (частоты) и громкости (амплитуды) при приближении виброисточника и наоборот понижения тона и громкости при его удалении.

5. Решения вибротранспортного уравнения при движении регулярных и сингулярных виброисточников в 2D пространстве

5.1. Функция Грина $N=2$. Построим функцию Грина $U(x,z)$ аналогично вышеизложенному. Ее обратное преобразование Фурье в этом случае имеет вид:

$$\begin{aligned}
 U(x, z) &= -\frac{1}{(2\pi)^2} \int_{R^2} \frac{e^{-i\zeta z} e^{-i\xi x}}{\xi^2 + m^2 \left(\zeta + wM / m^2\right)^2 - (w / m)^2} d\xi d\zeta = \\
 &= -\frac{e^{-i(wMz/m^2)}}{(2\pi)^2 m} \int_{R^2} \frac{e^{-i\zeta z/m} e^{-i(\xi, x)}}{\xi^2 + \zeta^2 - (w / m)^2} d\xi d\zeta.
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

Здесь тоже использовали замену переменных $\zeta = m\left(\zeta - wM / m^2\right)$. Здесь под знаком интеграла стоит преобразование Фурье фундаментального решения двухмерного уравнения Гельмгольца:

$$\Delta\Phi + k^2\Phi = \delta(y), \quad k = \frac{w}{m}, \quad y \in R^2,$$

Фундаментальное решение этого уравнения, удовлетворяющее условиям излучения Зоммерфельда, с учётом временного сомножителя, имеет следующий вид (Владимиров В.С., 1986):

$$\Phi 2(y) = -\frac{i}{2\pi} H_0^{(2)}(k\|y\|), \quad y \in R^2;$$

Здесь $H_0^{(2)}$ - функция Ханкеля второго рода. Соответственно, сравнивая с подынтегральной функцией в (37), с учетом линейных преобразований переменных, получим оригинал:

$$U(x, z) = -\frac{ie^{-iwm^{-2}Mz}}{(2\pi)^3 m} H_0^{(2)}\left(\frac{w}{m^2} \sqrt{z^2 + m^2 x^2}\right) \quad (38)$$

5.2. Решения однородного ВТУ при $N=2$. Теперь построим решения однородного ВТУ:

$$\frac{\partial^2 u^0}{\partial x^2} + 2i w M \frac{\partial u^0}{\partial z} + w^2 u^0 = 0, \quad x \in R^1, z \in R^1; \quad (39)$$

В пространстве преобразований Фурье, оно имеет вид:

$$-\left(\xi^2 + (1 - M^2)\zeta^2 - 2wv\zeta - w^2\right)\bar{u}^0 = 0 \quad \xi \in R^1, \zeta \in R^1 \quad (40)$$

Решение этого уравнения $\bar{u}^0 = \alpha(\xi, \zeta)\delta_S(\xi, \zeta)$ - сингулярная обобщенная функция – простой слой на поверхности эллипсоида S , центр которого смещен в точку $(0, 0, \zeta = wM / m^2)$:

$$\xi^2 + m^2\left(\zeta - wM / m^2\right)^2 = (w / m)^2,$$

Здесь плотность простого слоя $\beta(\xi, \zeta)$ - произвольная интегрируемая на S функция.

Соответственно

$$u^0(x, z) = \int_S \beta(\xi, \zeta) e^{-i(\xi, x)} e^{-i\zeta z} dS(\xi, \zeta) \quad (41)$$

Для построения $u^0(x, z)$ можно также использовать решения однородного уравнения Гельмгольца:

$$\Delta u^0(y) + k^2 u^0(y) = 0, \quad y = (y_1, y_2)$$

Их можно разложить в ряды Фурье-Бесселя:

$$u(y) = \sum_n b_n J_n(k \|y\|) e^{in\varphi}, \quad \|y\| = \sqrt{y_1^2 + y_2^2}.$$

Поскольку здесь $y = (x, z / m)$, получим

$$u^0(x, z) = e^{-i(wMz/m^2)} \sum_n b_n J_n\left(\frac{w}{cm} \sqrt{z^2 + m^2 r^2}\right) \frac{(x + iz / m)^n}{r^n}, \quad (42)$$

где коэффициенты b_n произвольные комплексные числа.

5.3. Общее решение ВТУ при $N=2$. Аналогично П.4.3 доказывается следующая теорема.

Т е о р е м а 2. Решение ВТУ (12) в 2D-пространстве имеет следующий вид:

$$u(x, z) = U(x, z) * g(x, z) + u^0(x, z). \quad (43)$$

Если $g(x, z)$ - регулярная функция и $g(x, z) \in L_1(R^2)$, то

$$U(x, z) * g(x, z) = \int_{R^2} U(x-y, z-h) g(y, h) dy dh. \quad (44)$$

Если $g(x, z)$ -- сосредоточенная на кривой l сингулярная функция:
 $g(x, z) = \beta(x, z) \delta_l(x, z)$, $\beta(x, z) \in L_1(l)$, то

$$(45)$$

Если $g(x, z) = G \frac{\partial^{n+m}}{\partial x^n \partial z^m} \delta(x, z)$ - сосредоточенный вибротранспортный источник, то

$$U(x, z) * g(x, z) = G \frac{\partial^{n+m}}{\partial x^n \partial z^m} U(x, z).$$

Формула (43) позволяет определять поле любого виброисточника из класса обобщенных функций медленного роста, как регулярных, так и сингулярных. При этом для сингулярных функций следует при вычислении свёртки пользоваться определением свёртки в пространстве обобщённых функций (Владимиров, 1986).

6. Одномерные решения ВТУ при движении регулярных и сингулярных виброисточников ($N=1$)

6.1. Функция Грина и решения однородного ВТУ при $N=1$. В этом случае $u = u(z)e^{i\omega t}$, $w = \omega / c$ и $u(z)$ и удовлетворяет уравнению

$$m^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + 2i w M \frac{\partial u}{\partial z} + w^2 u = g(x, z), \quad z \in R^1; \quad (46)$$

Фундаментальное решение удовлетворяет уравнению:

$$m^2 \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + 2i w M \frac{\partial U}{\partial z} + w^2 U = \delta(z), \quad z \in R^1; \quad (49)$$

А его трансформанта Фурье имеет вид:

$$\begin{aligned} \bar{U} &= -\frac{1}{m^2 \zeta^2 - 2wM\zeta - w^2} = -\frac{1}{m^2 \left(\zeta - wM/m^2\right)^2 - (w/m)^2} = \\ &= -\frac{m^{-2}}{\left(\zeta - wM/m^2\right)^2 - (w/m^2)^2}, \end{aligned} \quad (50)$$

Для построения оригинала воспользуемся фундаментальным решением ОДУ:

$$\frac{d^2\Phi_3}{dy^2} + \kappa^2\Phi_3(y) = \delta(y), \quad \kappa = w/m^2;$$

$$\bar{\Phi}_3(\zeta) = -\frac{1}{\zeta^2 - \kappa^2}$$

функция Грина, которого имеет вид:

$$\Phi_3(y) = \frac{\sin(\kappa|y|)}{2\kappa}$$

Она не стремится к нулю на бесконечности. Но ее амплитуда падает с ростом частоты вибрации, и наоборот растет при ее уменьшении.

Из этой формулы и формулы (50), с учетом свойства сдвига в пространстве преобразований Фурье, получим оригинал:

$$U(z) = \frac{\sin(w|z|/m^2)}{2w} e^{-iM/m^2}.$$

Соответственно решение однородного ВТУ имеет вид:

$$u^0(x) = (a \cos(\kappa z) + b \sin(\kappa z)) e^{-iM/m^2}$$

6.2. Общее решение ВТУ при $N=1$. Аналогично пунктам 4.3 и 4.5 доказывается следующая теорема.

Т е о р е м а 3. *Решение ВТУ (12) в 2D-пространстве имеет следующий вид:*

$$u(z) = U(z) * g(z) + u^0(z).$$

Если $g(z)$ - регулярная функция и $g(z) \in L_1(R^1)$, то

$$U(z) * g(x, z) = \int_{R^2} U(z-y)g(y)dy$$

Если $g(z) = G \frac{d^m \delta(z)}{dz^m}$ - сосредоточенный вибротранспортный источник, то

$$U(z) * g(z) = G \frac{d^m U(z)}{dz^m}$$

Таким образом все решения этого уравнения в пространствах физической размерности построены. По аналогии их можно построить в пространствах любой размерности, что можно предложить заинтересованному читателю. Здесь мы ограничились тремя.

Заключение. Исследование процессов распространения волн в сплошных средах и электромагнитных полях приводит к решению систем дифференциальных уравнений в частных производных различного типа

и определению их решений в виде векторных полей, которые описывают различные характеристики динамических процессов. Это могут быть, например, перемещения и скорости, как в упругих и многокомпонентных средах, или напряженности электромагнитных полей, изменение которых в пространстве и времени позволяет моделировать такие процессы и изучать их математическими методами.

Как известно, любое векторное поле $\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = u_j(\mathbf{x}, t)\mathbf{e}_j$ можно представить через скалярный и векторный потенциалы (φ, Ψ) в виде (Морс, 2013):

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \text{grad } \varphi(\mathbf{x}, t) + \text{rot } \Psi(\mathbf{x}, t), \quad (51)$$

которые описывают дилатационные и вихревые волны в рассматриваемой среде. В изотропных средах, как правило, они удовлетворяют волновым уравнениям:

$$\square_{c_\varphi} \varphi = f(\mathbf{x}, t), \quad \square_{c_\Psi} \Psi = \mathbf{g}(\mathbf{x}, t). \quad (52)$$

поскольку скорость распространения волн в таких средах всегда конечная и не зависит от направления распространения волны. Скорость движения может быть разной у этих волн, как в упругих средах, где сдвиговые волны, описываемые векторным потенциалом, распространяются медленнее дилатационных. А в электромагнитной среде, описываемой уравнениями Максвелла, они одинаковые.

Построенные здесь вибротранспортные решения волнового уравнения позволяют исследовать волновые процессы в таких средах при воздействии подвижных виброисточников волн различной природы. В частности, решения уравнений Ламе теории упругости с использованием потенциалов Ламе, которые удовлетворяют (52), позволяют исследовать напряженно-деформированное состояние упругой среды при таких динамических процессах с широким применением в задачах геофизики и сейсмологии.

Построенные решения можно использовать для решения вибротранспортных краевых задач акустики, теории упругости и электродинамики.

Заметим также, что построенные решения при нулевой частоте вибрации описывают дозвуковые транспортные решения волнового, уже хорошо изученные автором ранее (Алексеева, 2008). А транспортные и вибротранспортные нагрузки – это один из самых распространенных источников возмущений в средах. Например, электромагнитные поля электромагнитных излучателей на подвижных платформах, которые широко применяются в автомобильном и железнодорожном транспорте, можно моделировать с использованием построенных здесь решений.

Литература

- Абрамовиц, М., Стиган, И. Справочник по специальным функциям. Москва: Наука (1979).
- Алексеева, Л.А. Обобщённые решения краевых задач для одного класса бегущих решений волнового уравнения (2008). Математический журнал. Т. 8, №2, 1-19.
- Alekseeva, L.A. Fundamental solutions in the elastic space in the case of running loads. Applied mathematics and mechanics (1991). V.55, no. 5, .854-862.
- Alekseyeva, L.A. Somigliana's formulae for solving the elastodynamics equations for travelling loads. Applied Mathematics and Mechanics (1994). V. 58, no 1, 109-116.
- Alekseyeva, L.A. Boundary Element Method of Boundary Value Problems of Elastodynamics by Stationary Running Loads. Engineering Analysis with Boundary Element (1998). No 11, 37-44.
- Alexeyeva, L.A. Singular border integral equations of the BVP of elastodynamics in the case of subsonic running loads. Differential equations. (2010). V. 46, no 4, 512-519.
- Alexeyeva, L.A. Kayshibayeva, G.K. Transport Solutions of the Lamé Equations and Shock Elastic Waves. Computational Mathematics and Mathematical Physics (2016). V. 56, no 7, 1343–1354.
- Alexeyeva, L.A. Singular Boundary Integral Equations of Boundary Value Problems of the Elasticity Theory under Supersonic Transport Loads. Differential equations (2017). V. 53, no 3, 317–332.
- Brezhnev, V.A., Abramson, V.M., Zemelman, A.M., Vlasov, S.N., Koulaguin, N.I., Merkin, V.E., Razbeguin, V.N. Russian underwater tunnels in the system of international transportation ways. Tunneling and Underground Space Technology (2005). V. 20, no 6, 595-599.
- Владимиров, В.С. Уравнения математической физики. Москва: Наука (1986).
- Владимиров, В.С. Обобщённые функции в математической физике. Москва: Наука (1978).
- Гринченко В. Т., Вовк И. В., Маципура В.Т. *Основы акустики*. Киев: Наукова думка (2007).
- Морс Ф.М., Г. Фейсбах Г. Методы теоретической физики. Т.1. Рипол Классик (2013).
- Sheng, X., Jones, C.J.C., Petyt, M. Ground vibration generated by a load moving along a railway track. J. Sound Vibration (1999). No 228, 129–156.
- Egger, P. Design and construction aspects of deep tunnels. Tunneling and Underground Space Technology (2000). V. 15, no 4, 403-408.
- Hoop, A.T.D. The moving-load problem in soil dynamics-the vertical displacement approximation. Wave Motion (2002). V. 36, 1–12.
- Петровский И.С. Лекции об уравнениях с частными производными. Москва: Физматгиз (1961).
- Украинец В.Н. Динамика тоннелей и трубопроводов мелкого заложения под воздействием подвижных нагрузок (2006) Павлодар: НИЦ ПГУ им. С. Торайгырова, 124 с.

References

- Abramowitz, M., Stigani, I. Handbook of Special Functions. Moscow: Nauka (1979).
- Alekseeva, L.A. Generalized solutions of boundary value problems for one class of traveling solutions of the wave equation (2008). Mathematical Journal. vol. 8, No.2, 1-19.
- Alekseeva, L.A. Fundamental solutions in the elastic space in the case of running loads. Applied mathematics and mechanics (1991). V.55, no. 5, .854-862.
- Alekseyeva, L.A. Somigliana's formulae for solving the elastodynamics equations for travelling loads. Applied Mathematics and Mechanics (1994). V. 58, no 1, 109-116.
- Alekseyeva, L.A. Boundary Element Method of Boundary Value Problems of Elastodynamics by Stationary Running Loads. Engineering Analysis with Boundary Element (1998). No 11, 37-44.
- Alexeyeva, L.A. Singular border integral equations of the BVP of elastodynamics in the case of subsonic running loads. Differential equations. (2010). V. 46, no 4, 512-519.
- Alexeyeva, L.A. Kayshibayeva, G.K. Transport Solutions of the Lamé Equations and Shock Elastic Waves. Computational Mathematics and Mathematical Physics (2016). V. 56, no 7, 1343–1354.
- Alexeyeva, L.A. Singular Boundary Integral Equations of Boundary Value Problems of the Elasticity Theory under Supersonic Transport Loads. Differential equations (2017). V. 53, no 3, 317–332.
- Brezhnev, V.A., Abramson, V.M., Zemelman, A.M., Vlasov, S.N., Koulaguin, N.I., Merkin, V.E., Razbeguin, V.N. Russian underwater tunnels in the system of international transportation ways. Tunneling and Underground Space Technology (2005). V. 20, no 6, 595-599.

- Vladimirov, V.S. Equations of mathematical physics. Moscow: Nauka (1986).
- Vladimirov, V.S. Generalized functions in mathematical physics. Moscow: Nauka (1978).
- Grinchenko V.T., Vovk I. V., Matsipura V.T. Fundamentals of acoustics. Kiev: Naukova dumka (2007).
- Morse F.M., G. Feshbach G. Methods of theoretical physics. Vol.1. Ripoll Classic (2013).
- Sheng, X., Jones, C.J.C., Petyt, M. Ground vibration generated by a load moving along a railway track. *J. Sound Vibration* (1999). No 228, 129–156.
- Egger, P. Design and construction aspects of deep tunnels. *Tunneling and Underground Space Technology* (2000). V. 15, no 4, 403-408.
- Hoop, A.T.D. The moving-load problem in soil dynamics-the vertical displacement approximation. *Wave Motion* (2002). V. 36, 1–12.
- Petrovsky I.S. Lectures on partial differential equations. Moscow: Fizmatgiz (1961).
- Ukrainets V.N. Dynamics of tunnels and pipelines of shallow laying under the influence of mobile loads (2006) Pavlodar: SIC S. Toraighyrov PSU, 124 p.

CONTENTS

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

M. Aitimov, R.U Almenayeva, K.K. Makulov, A.B. Ostayeva, R. Muratkhan APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHOD TO ANALYZE AND EXTRACT SEMANTIC STRUCTURES FROM SCIENTIFIC TEXTS.....	5
A.K. Aitim, G.K. Sembina MODELING OF HUMAN BEHAVIOR FOR SMARTPHONE WITH USING MACHINE LEARNING ALGORITHM.....	17
G. Aksholak, A. Bedelbayev, R. Magazov ANALYSIS AND COMPARISON OF MACHINE LEARNING METHODS FOR MALWARE DETECTION.....	29
A.L. Alexeyeva SUBSONIC VIBROTRANSPORT SOLUTIONS OF THE WAVE EQUATION IN SPACES OF DIMENSION $N=1,2,3$	42
K. Bagitova, Sh. Mussiraliyeva, K. Azanbai ANALYSIS OF SYSTEMS FOR RECOGNIZING POLITICAL EXTREMISM IN ONLINE SOCIAL NETWORKS.....	60
A.S. Baegizova, G.I. Mukhamedrakhimova, I. Bapiyev, M.Zh. Bazarova, U.M. Smailova EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF MACHINE LEARNING METHODS FOR KEYWORD COVERAGE.....	73
G. Bekmanova, B. Yergesh, G. Yelibayeva, A. Omarbekova, M. Strecker MODELING THE RULES AND CONDITIONS FOR CONDUCTING PRE-ELECTION DEBATES.....	89
M. Bolatbek, M. Sagynay, Sh. Mussiraliyeva USING MACHINE LEARNING METHODS FOR DETECTING DESTRUCTIVE WEB CONTENT IN KAZAKH LANGUAGE.....	99
Y. Golenko, A. Ismailova, K. Kadirkulov, R. Kalendar DEVELOPMENT OF AN ONLINE PLATFORM FOR SEARCHING FOR TANDEM REPEATS USING WHOLE GENOME SEQUENCING.....	112

T. Zhukabayeva, L. Zholshiyeva, N. Karabayev, Sh. Akhmetzhanova A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF EDGE COMPUTING IN INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (IIoT) CYBER-PHYSICAL SYSTEMS.....	123
S.S. Koishybay, N. Meirambekuly, A.E. Kulakaeva, B.A. Kozhakhmetova, A.A. Bulin DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF A MULTI-BAND DISCONE ANTENNA.....	138
A. Kydyrbekova, D. Oralbekova SPEAKER IDENTIFICATION USING DISTRIBUTION-PRESERVING X-VECTOR GENERATION.....	152
B. Medetov, A. Nurlankyzy, A. Akhmediyarova, A. Zhetpisbayeva, D. Zhexebay COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF NEURAL NETWORKS WITHIN THE LOW SNR.....	163
A.A Myrzatay, L.G. Rzaeva, B. Zhumadilla, A.A. Mukhanova, G.A. Uskenbayeva DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING AND TIME WINDOW METHODS FOR PREDICTIVE LAN MONITORING: ANALYSIS, COMPARISON AND APPLICATION.....	174
L. Naizabayeva, M.N. Satymbekov PREDICTING URBAN SOIL POLLUTION USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS.....	194
A.U. Mukhiyadin, U.T. Makhazhanova, A.Z. Alimagambetova, A.A. Mukhanova, A.I. Akmoldina PREDICTING STUDENT LEARNING ENGAGEMENT USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES: ANALYSIS OF EDUCATION DATA IN KAZAKHSTAN.....	204
Zh. Tashenova, Zh. Abdugulova, Sh. Amanzholova, E. Nurlybaeva PENETRATION TESTING APPROACHES EMPLOYING THE OPENVAS VULNERABILITY MANAGEMENT UTILITY.....	218
D.B. Tyulemissova, A.K. Shaikhanova, V. Martsenyuk, G.A. Uskenbayeva MODERN APPROACHES TO STUDYING THE DYNAMICS OF INFORMATION FLOW IN SOCIAL MEDIA BASED ON MACHINE LEARNING METHODS.....	231

МАЗМҰНЫ

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

М. Айтимов, Р.У Альменаева, К.К. Макулов, А.Б. Остаева, Р. Муратхан
ҒЫЛЫМИ МӘТІНДЕРДЕН СЕМАНТИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ
ТАЛДАУ ЖӘНЕ АЛУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСІН
ҚОЛДАНУ.....5

Ә.Қ. Әйтiм, Г.К. Сембина
МАШИНАЛЫҚ ОҚУ АЛГОРИТМІН ПАЙДАЛАНЫП СМАРТФОН
ҮШІН АДАМ МІНЕЗІН МОДЕЛДЕУ.....17

Г.И. Ақшолақ, А.А. Бедельбаев, Р.С. Мағазов
ЗИЯНДЫ БАҒДАРЛАМАЛАРДЫ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ САЛЫСТЫРУ.....29

А.Л. Алексеева
N=1,2,3 ӨЛШЕМДІ КЕҢІСТІГІНДЕГІ ТОЛҚЫНДЫҚ ТЕҢДЕУДІҢ
ДЫБЫСҚА ДЕЙІНГІ ДІРІЛКӨЛІКТІК ШЕШІМДЕРІ.....42

Қ.Б. Бағитова, Ш.Ж. Мусиралиева, Қ. Азанбай
ӘЛЕУМЕТТІК ЖЕЛІЛЕРДЕГІ САЯСИ ЭКСТРЕМИЗМДІ ОНЛАЙН ТАҢУ
ЖҮЙЕЛЕРІН ТАЛДАУ.....60

**А.С. Баегизова, Г.И. Мухамедрахимова, И.М. Бапиев, М.Ж. Базарова,
У.М. Смайлова**
ТҮЙІН СӨЗДЕРДІ ҚАМТУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНІҢ
ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ.....73

**Г.Т. Бекманова, Б.Ж. Ергеш, Г.К. Елибаева, А.С. Омарбекова,
М. Strecker**
САЙЛАУ АЛДЫНДАҒЫ ПІКІРТАЛАСТАРДЫ ӨТКІЗУ ЕРЕЖЕЛЕРІ
МЕН ШАРТТАРЫН МОДЕЛЬДЕУ.....89

М.А. Болатбек, М.Сағынай, Ш.Ж. Мусиралиева
ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ДЕСТРУКТИВТІ ВЕБ-КОНТЕНТТІ АНЫҚТАУ ҮШІН
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ.....99

Е.С. Голенко, А.А. Исмаилова, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Календарь
ТОЛЫҚ ГЕНОМДЫҚ СЕКВЕНИРЛЕУДЕ ТАНДЕМДІК
ҚАЙТАЛАНУЛАРДЫ ІЗДЕУ ҮШІН ОНЛАЙН ПЛАТФОРМАСЫН
ӘЗІРЛЕУ.....112

- Т. Жукабаева, Л. Жолшиева, Н. Карабаев, Ш. Ахметжанова**
ӨНДІРІСТІК ЗАТТАР ИНТЕРНЕТІ (IoT) КИБЕРФИЗИКАЛЫҚ
ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ШЕТКІ ЕСЕПТЕУЛЕРДІ ҚОЛДАНУҒА
БИБЛИОМЕТРИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.....123
- С.С. Қойшыбай, Н. Мейрамбекұлы, А.Е. Кулакаева, Б.А. Кожаметова,
А.А. Булин**
КӨПДИАПАЗОНДЫДИСКОНУСТЫҚАНТЕННАКОНСТРУКЦИЯСЫН
ӨЗІРЛЕУ.....138
- А.С. Кыдырбекова, Д.О. Оралбекова**
ТАРАТУДЫ САҚТАЙТЫН Х-ВЕКТОРЛАР ГЕНЕРАЦИЯСЫН
ПАЙДАЛАНЫП ДАУЫСТЫ ИДЕНТИФИКАЦИЯЛАУ.....152
- Б. Медетов, А. Нурланқызы, А. Ахмедиярова, А. Жетписбаева, Д. Жексебай**
СИГНАЛШУЫЛ ҚАТЫНАСЫ ТӨМЕН ЖАҒДАЙДА НЕЙРОНДЫҚ
ЖЕЛЛЕРДІҢ ТИІМДІЛІГІНЕ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ ЖАСАУ.....163
- А.А. Мырзатай, Л.Г. Рзаева, Б. Жұмаділла, А.А. Муханова,
Г.А. Ускенбаева**
ЖЕРГІЛІКТІ ЖЕЛІНІ БОЛЖАМДЫ БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН ҚОС
ЭКСПОНЕНЦИАЛДЫ ТЕГІСТЕУ ЖӘНЕ УАҚЫТ ТЕРЕЗЕЛЕРІНІҢ
ӘДІСТЕРІ: ТАЛДАУ, САЛЫСТЫРУ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ.....174
- Л. Найзабаева, М.Н. Сатымбеков**
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІН ПАЙДАЛАҢА АРҚЫЛЫ
ҚАЛА ТОПЫРАҒЫНЫҢ ЛАСТАҢУЫН БОЛЖАУ.....194
- А.Ұ. Мұхиядин, У.Т. Махажанова, А.З. Алимагамбетова, А.А.Муханова,
А.И. Акмолдина**
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП,
ОҚУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМ АЛУҒА ЫҢТАСЫН БОЛЖАУ:
ҚАЗАҚСТАҢДАҒЫ БІЛІМ БЕРУ ДЕРЕКТЕРІН ТАЛДАУ.....204
- Ж.М. Ташенова, Ж.К. Абдугулова, Ш.А. Аманжолова, Э. Нурлыбаева**
OPENVAS ОСАЛДЫҒЫН БАСҚАРУ УТИЛИТАСЫН ҚОЛДАНА
ОТЫРЫП, ЕНУДІ ТЕСТІЛЕУ ТӘСІЛДЕРІ.....218
- Д.Б. Тюлемисова, А.К. Шайханова, В.П. Мартценюк, Г.А. Ускенбаева,
Г.В. Бекешева**
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ӘЛЕУМЕТТІК
ЖЕЛЛЕРДЕГІ АҚПАРАТ АҒЫНЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫН ЗЕРТТЕУДІҢ
ЗАМАНАУИ ТӘСІЛДЕРІ.....231

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

М. Айтимов, Р.У Альменаева, К.К. Макулов, А.Б. Остаева, Р. Муратхан ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА И ИЗВЛЕЧЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКИХ СТРУКТУР ИЗ НАУЧНЫХ ТЕКСТОВ.....	5
А.К. Айтим, Г.К. Сембина МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ДЛЯ СМАРТФОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	17
Г.И. Акшолок, А.А. Бедельбаев, Р.С. Магазов АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДОНОСНОГО ПО.....	29
Л.А. Алексеева ДОЗВУКОВЫЕ ВИБРОТРАНСПОРТНЫЕ РЕШЕНИЯ ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВАХ РАЗМЕРНОСТИ $N=1,2,3$	42
К.Б. Багитова, Ш.Ж. Мусиралиева, К. Азанбай АНАЛИЗ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОЛИТИЧЕСКОГО ЭКСТРЕМИЗМА В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ ОНЛАЙН.....	60
А.С. Баегизова, Г.И. Мухамедрахимова, И.М. Бапиев, М.Ж. Базарова, У.М. Смайлова ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОХВАТА КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ.....	73
Г.Т. Бекманова, Б.Ж. Ергеш, Г.К. Елибаева, А.С. Омарбекова, М. Strecker МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРАВИЛ И УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДВЫБОРНЫХ ДЕБАТОВ.....	89
М.А. Болатбек, М. Сагынай, Ш.Ж. Мусиралиева ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕСТРУКТИВНОГО ВЕБ-КОНТЕНТА НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ.....	99
Е.С. Голенко, А.А. Исмаилова, К.К. Кадиркулов, Р.Н. Календарь РАЗРАБОТКА ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОИСКА ТАНДЕМНЫХ ПОВТОРОВ ПРИ ПОЛНОГЕНОМНОМ СЕКВЕНИРОВАНИИ.....	112

Т. Жукабаева, Л. Жолшиева, Н. Карабаев, Ш. Ахметжанова БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (IIoT).....	123
С.С. Койшыбай, Н. Мейрамбекұлы, А.Е. Кулакаева, Б.А. Кожаметова, А.А. Булин РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МНОГОДИАПАЗОННОЙ ДИСКОНУСНОЙ АНТЕННЫ.....	138
А.С. Кыдырбекова, Д.О. Оралбекова ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГОВОРЯЩЕГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРАЦИИ X-ВЕКТОРОВ С СОХРАНЕНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ...152	152
Б. Медетов, А. Нурланкызы, А. Ахмедиярова, А. Жетписбаева, Д. Жексебай СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ НИЗКОМ ЗНАЧЕНИИ ОТНОШЕНИЯ С/Ш.....	163
А.А. Мырзатай, Л.Г. Рзаева, Б. Жұмаділла, А.А. Муханова, Г.А. Ускенбаева МЕТОДЫ ДВОЙНОГО ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ И ВРЕМЕННЫХ ОКОН ДЛЯ ПРЕДИКТИВНОГО МОНИТОРИНГА ЛВС: АНАЛИЗ, СРАВНЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ.....	174
Л. Найзабаева, М.Н. Сатымбеков ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	194
А.У. Мухиядин, У.Т. Махажанов, А.З. Алимагамбетова, А.А. Муханова, А.И. Акмолдина ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОТИВАЦИИ УЧАЩИХСЯ К ОБУЧЕНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: АНАЛИЗ ДАННЫХ ОБ ОБРАЗОВАНИИ В КАЗАХСТАНЕ.....	204
Ж.М. Ташенова, Ж.К. Абдугулова, Ш.А. Аманжолова, Э. Нурлыбаева ПОДХОДЫ К ТЕСТИРОВАНИЮ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УТИЛИТЫ УПРАВЛЕНИЯ УЯЗВИМОСТЯМИ OPENVAS.....	218
Д.Б. Тюлемисова, А.К. Шайханова, В. Мартценюк, Г.А. Ускенбаева, Г.В. Бекешева СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ДИНАМИКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА В СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	231

**Publication Ethics and Publication Malpractice
the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 2.12.2024.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

16,0 п.л. Тираж 300. Заказ 4.