

**Ю.В. Миргородская, М.В. Бернавская, Л.Г. Стаценко, А.А. Чусов,  
Н.А. Черкасова**

**ОБЪЕКТНЫЙ АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО  
РАЗЛИЧНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЗВУКА В ПРОИЗВОЛЬНОМ  
ПОМЕЩЕНИИ**

*Предложен инструмент для анализа акустического поля, создаваемого различными источниками звука в произвольном помещении. Данный инструмент базируется на авторском алгоритме реализации и объектной модели, заданной объектами, классами и их связями в соответствии со спецификацией UML2.5, и может использоваться для создания автоматизированных систем моделирования акустических характеристик помещений. Используемая модель рассматривалась в предыдущих работах авторов, в данной - приводится новый алгоритм реализации. Он поддерживает метод параллельно-распределенного моделирования, важнейшим свойством которого является распараллеливание отдельных задач для выполнения на разных вычислителях и, как следствие, повышение производительности и точности вычислений. Данный алгоритм положен в основу экспериментального образца программной среды САМaaS (Computer-Aided Modelling as a Service), разрабатываемой в рамках Федеральной целевой программы «Исследование и разработка высокопараллельных программно-алгоритмических средств и методов моделирования и их реализации для высокопроизводительных программно-аппаратных платформ». Образец основывается на высокопроизводительной программно-аппаратной системе, аппаратная часть которой представлена в виде распределенной четырехкластерной платформы с симметричной мультипроцессорностью и многоядерностью, а также с вычислителями CUDA. Для апробации инструмента были проведены численные расчеты и натурные измерения акустических характеристик помещения. Измерения проводились сертифицированным оборудованием в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. В качестве объекта исследований был выбран конференц-зал Дальневосточного федерального университета. Результаты эксперимента показали, что отклонения от оптимального времени реверберации составляют 14,3–26,5 % в разных точках исследуемого конференц-зала, что не соответствует принятым стандартам и приводит к ухудшению разборчивости речи. Установлено, что экспериментальный образец имеет экспоненциальную зависимость потребляемых ресурсов от глубины учитываемых вторичных источников, что может позволить применить представленную объектную модель для реализации программных средств моделирования физических полей любой сложности.*

*Объектная модель; архитектурная акустика; компьютерное моделирование; язык UML2.5.*

**Yu.V. Mirgorodskaya, M.V. Bernavskaya, L.G. Statsenko, A.A. Chusov,  
N.A. Cherkasova**

**OBJECT ANALYSIS OF THE ACOUSTIC FIELD CREATED BY VARIOUS  
SOURCES OF SOUND IN THE RANDOM ROOM**

*The paper proposes a tool for analyzing the acoustic field created by various sound sources in a random room. This tool is based on the author's implementation algorithm and object model defined by objects, classes and their interactions in accordance with the UML2.5 specification and can be used to create automated systems for modeling the acoustic characteristics of the premises. The model was considered by the authors in previous works. This paper provides a new implementation algorithm. It supports the method of parallel-distributed modeling, the most important property of which is the parallelization of individual tasks for execution on different processors for increasing performance and accuracy of calculations. This algorithm forms the basis of an experimental instance of the CAMaaS (Computer-Aided Modeling as a Service) software environment developed under the Federal Target Program "Research and Development of Highly Parallel Algorithmic Software and Modeling Methods and Their Implementation for High-Performance Software and*

*Hardware Platforms". The sample is based on a high-performance software and hardware system, hardware represented in the form of a distributed four-cluster platform, with symmetric multiprocessing and multi-core, as well as with CUDA solvers. For approbation of the instrument, numerical calculations and field measurements of the acoustic characteristics of the room were performed. The measurements were performed by certified equipment in accordance with the requirements of ISO 3382-1-2013. The conference hall of the Far Eastern Federal University was chosen as the object of research. The results of the experiment showed that deviations from the optimal reverberation time are 14.3–26.5 % at different points in the conference room under study, which does not meet accepted standards and leads to a deterioration in speech intelligibility. It has been defined that the experimental instance has an exponential dependence of the consumed resources on the depth of the secondary sources taken into account, which may make it possible to apply the presented object model for the implementation of software for modeling physical fields of any complexity.*

*The object model; architectural acoustics; computer Modelling; language UML2.5.*

**Введение.** С мощным развитием информационных технологий, появлением современных акустических систем стало возможным создание автоматизированных систем моделирования акустических характеристик помещений [1–5]. Существует множество профессиональных программ данного направления, самые распространенные из которых ODEON, EASE, CATT-Acoustic [6, 7]. Недостатками этих программ являются наличие определённой погрешности в вычислениях, что связано с привлечением статистических и геометрических методов, а также некоторыми упрощениями (например, игнорирования в ряде случаев рассеяния звука на поверхностях). Устранить неточности вычислений и повысить производительность можно путем перехода к методу параллельно-распределенного моделирования, важнейшим свойством которого является распараллеливание отдельных задач для выполнения на разных вычислителях.

В отличие от классических последовательных вычислительных систем программно-аппаратная реализация параллельной платформы оказывает определяющее влияние на сам алгоритм, реализуемый экспертами предметной области [8–12].

Поэтому сегодня, при разработке программных и аппаратных вычислительных систем, каждый раз в частном порядке необходимо обеспечивать одновременную совокупную работу в разных предметных областях, что может создавать принципиальные сложности.

При реализации проблемно-ориентированных программных и аппаратных комплексов, особенно сколько-нибудь наукоемких, всегда остро встает проблема взаимодействия специалистов различных предметных областей – как минимум двух специалистов предметной области, к которой относится решаемая проблема, и специалистов, выполняющих реализацию программного решения этой проблемы. Экспертам предметной области необходимо составить математическую модель решаемой задачи и предоставить эту модель в виде алгоритма, а специалистам области информационных технологий необходимо обеспечить выполнение условий, вытекающих из реализации этой математической модели на формальном языке. Например, уже на ранних этапах проектирования необходимо учитывать положения теорий алгоритмов, сложности, дискретной математики, которые, в первую очередь связаны с реализацией, но налагают определенные требования на алгоритмическую модель задачи, составляемую экспертами предметной области [12].

В статье представлена объектная модель, необходимая для реализации архитектуры системы моделирования акустического поля в произвольном помещении. Данная модель была применена при разработке высокопроизводительной программно-аппаратной системы моделирования акустических полей, аппаратнопредставленной в виде распределенной четырехкластерной платформы, с симметричной мультипроцессорностью и многоядерностью, а также с вычислителями CUDA [13].

**Объектная модель.** При использовании программы моделирования акустического поля пользователю необходимо ввести данные геометрических размеров помещения, физическую модель, количество и положение плоскостей вывода результатов моделирования [13–17].

Под геометрической моделью среды распространения звука понимается двух или трехмерное описание компонентов модели среды распределения поля: их положение, размеры и т.п. В физической модели пользователь задает параметры и материалы каждого компонента геометрической модели. Физические параметры материала (коэффициенты поглощения, диэлектрические проницаемости и т.п.) выбираются из базы данных, система управления которой входит в предметно-независимую подсистему, а наполнение осуществляется для конкретной предметной задачи. К физическим параметрам относятся и те, которые задают прохождение волны в части среды, не определяемой компонентами геометрической модели (например, давление, влажность, температура воздуха). Под плоскостями вывода результатов понимаются плоскости, секущие геометрическую модель среды распространения поля. На этих плоскостях в процессе моделирования будут в различных точках «накапливаться» получаемые параметры моделируемого поля.

Объектно-ориентированный подход к решению задачи анализа акустического поля реализуется на использовании составных частей – классов, разрабатываемых с участием специалиста предметной области, служащие для описания множества объектов и их свойств и задают алгоритм. Чтобы из частей можно было собрать разрабатываемый объект, необходимо определить все виды взаимосвязей между классами [13]. На схеме (рис. 1) эти связи заданы в соответствии со спецификацией UML2.5 [13]:

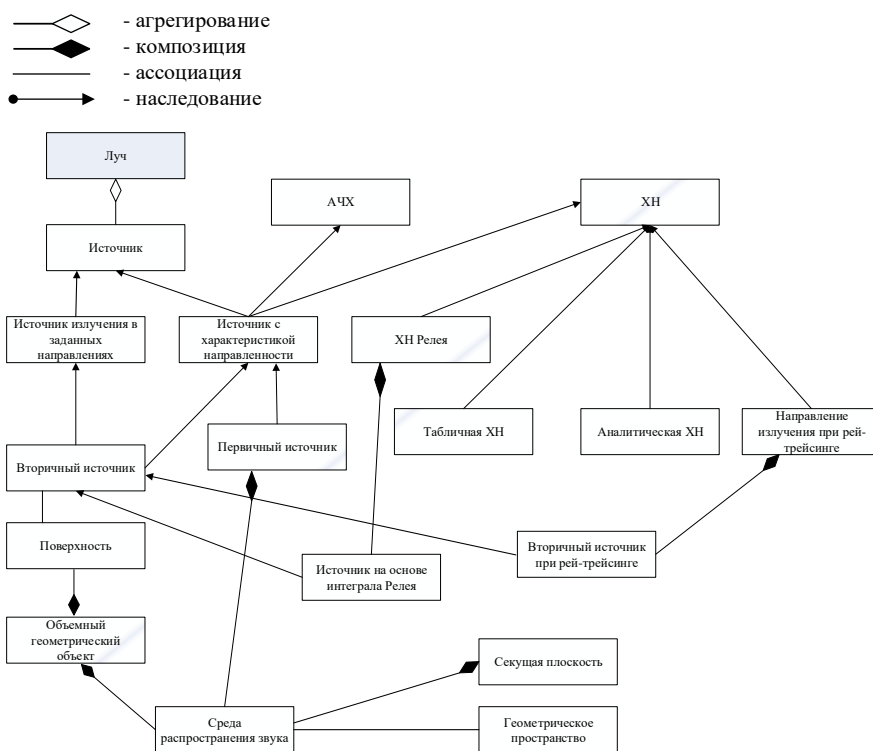


Рис. 1. Используемые классы предметной области

Классы и объекты представленной объектной модели были описаны в статье «Объектно-ориентированный подход при моделировании акустического поля в помещении» [19].

**Алгоритмическая модель.** Представленная объектная модель лежит в основе следующей алгоритмической реализации. Каждая поверхность помещения представлена в виде системы плоских колеблющихся поршней. Такой поршень при попадании на него звукового луча оказывается вторичным источником звука.

$$\varphi(\theta, \varphi, r) = \frac{V_0 e^{i(\omega t + \varphi)}}{2\pi} \iint_S \frac{e^{-ikr'(\theta, \varphi, r)}}{r'(\theta, \varphi, r)} dS, \quad (1)$$

где

$\varphi(\theta, \varphi, r)$  – потенциал колебательной скорости в точке, заданной в сферической системе координат, в которой  $\theta = 0, \varphi = 0, r = 1$  – единичный вектор сонаправленный главной оси источника;

$S$  – поверхность или ее часть, которая колеблется как поршень;

$dS$  – малый элемент поверхности в окрестности некоторой точки  $(x, y)$ , принадлежащей поверхности и заданной в системе координат поверхности, в которой аппликата сонаправлена главной оси источника;

$V_0$  – амплитуда колебательной скорости;

$\omega$  – круговая частота колебаний поршня;

$\varphi$  – начальная фаза колебаний;

$r'(\theta, \varphi, r) = \sqrt{(r \sin \varphi \cos \theta - x)^2 + (r \sin \varphi \sin \theta - y)^2 + (r \cos \varphi)^2}$ .

*Предусловия*

1. Пусть  $M$  – среда распространения звука.
2.  $SC = M$ . Множество источников().
3.  $PC = M$ . Множество отражающих элементов().
4.  $PIC = M$ . Множество контрольных точек() – множество плоскостей вывода результатов.
5. Расстояние(точка1, точка2) – функция расстояния между двумя точками.

*Течение алгоритма*

1.  $SC' \leftarrow SC$  – изменяемое множество всех источников.
2. Если  $SC'$  пусто.
  1. Завершение алгоритма.
3. Для всех источников  $s \in SC'$ 
  1.  $SC' \leftarrow SC \setminus s$
  2. Пусть множество лучей:  $RS = s$ . Излучаемый звук()
  3. Для всех лучей  $r \in RS$ 
    1. Если  $r$ .Интенсивность() >  $M$ . Пренебрежимый уровень звука()
      1.  $PIC' \leftarrow \{pl_i\} \subset PIC: \exists pt = pl_i \cap r \wedge \text{расстояние}(r, \text{Позиция}(), pt) \leq \text{расстояние}(r, \text{Позиция}(), r.\text{Ближайшая поверхность}(PC) \cap r)$  – множество плоскостей вывода результатов, с которыми существуют пересечения луча  $r$ , и которые не находятся в тени.
    2. Для всех плоскостей  $Pl \in PIC'$ 
      1. Точка пересечения  $pt \leftarrow pl \cap r$ .
      2.  $I \leftarrow r$ . Интенсивность(расстояние( $r$ .Позиция(),  $pt$ ))
      3. Если  $I > M$ . Пренебрежимый уровень звука()
        1.  $pl$ . Зарегистрировать звук( $pt, I, r$ .Частота())
        3. Если  $\exists f = r$ . Ближайшая поверхность( $PC$ )
          1. Пусть  $P \leftarrow f \cap r$

2. Если  $g(\text{Интенсивность}(\text{расстояние}(g, \text{Позиция}(), P)) > M(\text{Пренебрежимый уровень звука}))$ 
  1. Пусть  $f'$  – плоская круглая поверхность диаметром, равным длине волны звука, ассоциированного с лучом  $r$  (см.  $g(\text{Частота}())$ ), вокруг точки пересечения  $P$ .
  2.  $s' = \text{Вторичный источник на основе интеграла Релея } (f \cap f', r, f \cap r)$
  3.  $SC' \leftarrow SC' \cup \{s'\}$  – дополнение множества  $SC'$  новым вторичным источником  $s'$ .

4. Переход на шаг 2.

Результатами моделирования должны быть:

1. Вывод значений исследуемых характеристик поля в контрольных точках, расположенных на плоскостях вывода результатов.
2. Визуализация распределения поля как функция от значений на плоскостях. Визуальное отображение значений на одной плоскости – в виде линий уровня. Для трехмерного отображения предполагается расположение плоскостей в виде сетки и построение плоскостей равных характеристик поля [14].
3. Двух- или трехмерная визуализация геометрической модели исследуемого помещения на которую накладывается картина распределения поля.

**Экспериментальные исследования предложенного алгоритма.** Имеющийся алгоритм был положен в основу экспериментального образца программной среды САМаАS (Computer-Aided Modelling as a Service), разрабатываемой в рамках Федеральной целевой программы «Исследование и разработка высокопараллельных программно-алгоритмических средств и методов моделирования и их реализации для высокопроизводительных программно-аппаратных платформ» 2014–2016 гг.

Было проведено моделирование звукового поля в среде САМаАS, результаты которого представлены на рис. 2.

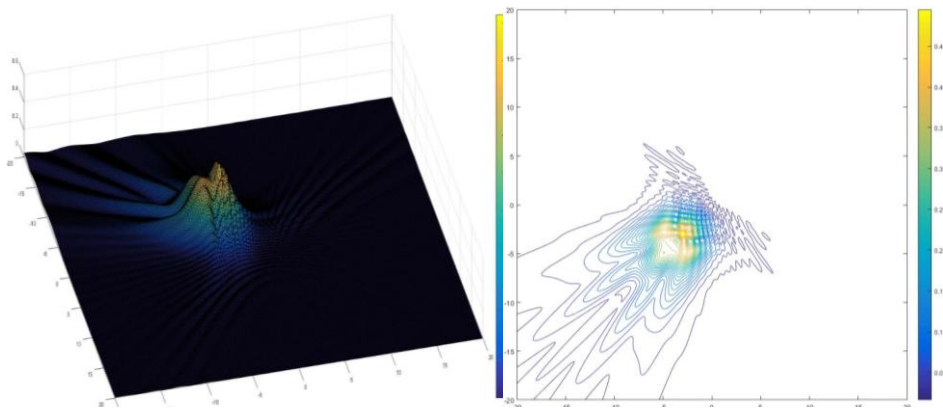


Рис. 2. Распределение звукового поля звука на плоскости вывода результатов

Цветом отмечены минимальные и максимальные значения звукового поля.

Для помещения соответствующих размеров проделан эксперимент по измерению акустических параметров в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 сертифицированным оборудованием [20].

Измерения проводились в незаполненном помещении в 16 точках равномерно распределенных по залу и находящихся на уровне уха среднего слушателя.

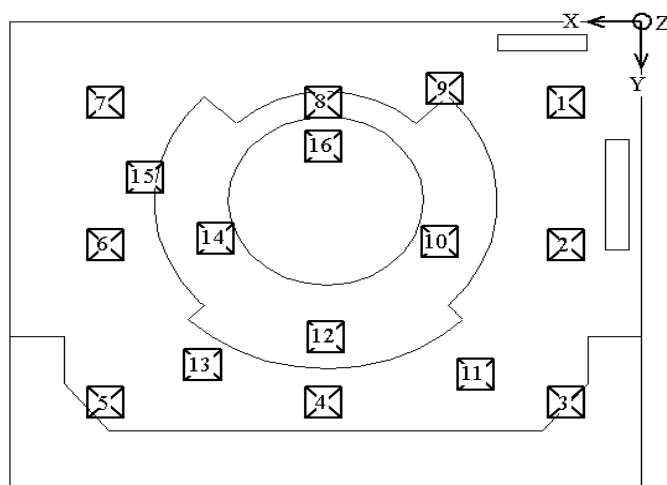


Рис. 3. Схема распределения контрольных точек

Формирование звуковых сигналов требуемых частот осуществлялось низкочастотным генератором. Сигналы октавных частот излучались двухполосной активной акустической системой. Источник звука должен быть ненаправленным. Замеры уровней звукового давления проводились шумомером для каждой октавной полосы частот 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц.

Результаты эксперимента представлены на рис. 4–6 в виде графиков.

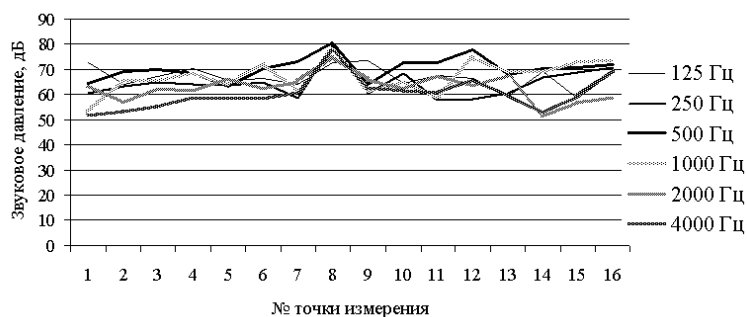


Рис. 4. Уровни звукового давления измеренные на средних октавных частотах

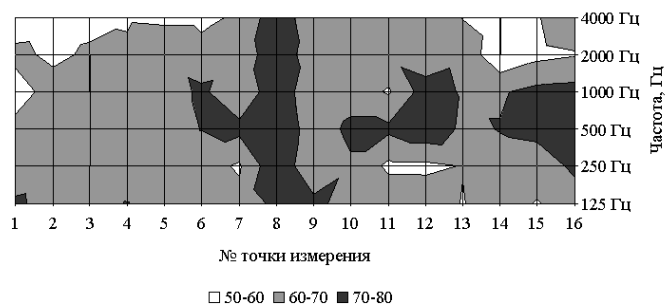


Рис. 5. Распределение уровней звукового давления на средних октавных частотах

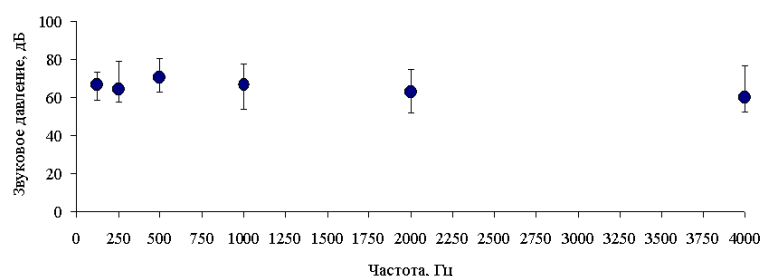


Рис. 6. Частотная зависимость уровней звукового давления

Время реверберации было измерено в первых 8-ми точках. В качестве источника звука был использован стартовый пистолет. С помощью программного обеспечения AdobeAuditionCS6 путем записи были получены и проанализированы экспериментальные данные.

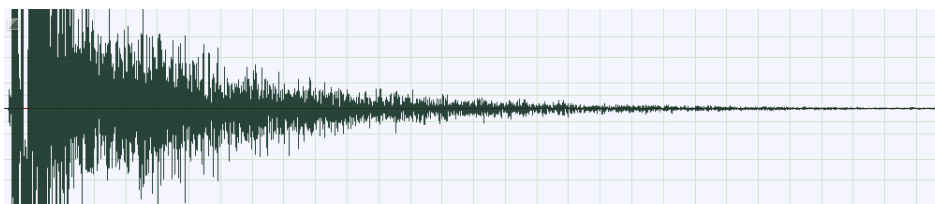


Рис. 7. Эхограмма звуковой дорожки при выстреле из стартового пистолета в точке № 1

Время реверберации определяется согласно ГОСТ 24146–80 из участка эхограммы звуковой дорожки (рис. 7). Результаты показали отклонения от оптимального времени реверберации на 14,3–26,5 % в разных точках зала, что не соответствует принятым стандартам для конференц-залов и приводит к ухудшению разборчивости речи.

**Закключение.** Таким образом, в работе представлена объектная модель и алгоритм численного моделирования, необходимые для проектирования и реализации систем моделирования акустических полей в помещении. Представленная объектная модель была использована при программной реализации алгоритмов моделирования на основе методов рейтрейсинга, а также модели поля с учетом направленных свойств вторичного источника.

Алгоритмическая реализация модели поля имеет экспоненциальную сложность от глубины учитываемых вторичных источников, что может позволить применить представленную объектную модель для реализации программных средств моделирования физических полей любой сложности. Однако, объектная модель позволила обеспечить высокую масштабируемость реализации, что показано экспериментально.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ланэ М.Ю. Компьютерное моделирование при акустическом проектировании помещения // Шоу-Мастер. – 2012. – № 2 (69). – 88 с. – URL: [http://www.showmaster.ru/categories/kompyuternoe\\_modelirovanie\\_pri\\_akusticheskom\\_proektirovanii\\_pomeshcheniya.html](http://www.showmaster.ru/categories/kompyuternoe_modelirovanie_pri_akusticheskom_proektirovanii_pomeshcheniya.html).
2. Помпеи А., Сумбатян М.А., Тодоров Н.Ф. Виртуальные компьютерные модели в акустике помещений: метод лучевых траекторий и алгоритмы аурализации // Акустический журнал. – 2009. – Т. 55, № 6. – С. 760-771.

3. Акулькин Н.В., Маслов О.Н. Имитационное моделирование статистических характеристик пространственно-временных сигналов и волновых полей: научное издание // Радиотехника и электроника. – 2005. – Т. 50, № 8. – С. 961-968. ISSN 0033-8494.
4. Чусов А.А., Миргородская Ю.В. Программно-алгоритмическое обеспечение «Acoustic Modeler +» для акустического расчета и озвучения помещений // Вологодские чтения. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009. – С. 85. – ISSN 2219-7389.
5. Тодоров Н.Ф. Особенности аурализации и анализ современного состояния компьютерных систем моделирования акустики помещений // Сб. трудов аспирантов и соискателей РГУ. – Ростов-на-Дону – ЦВВР, 2007.
6. Hodgson M., York N., Yang W. Comparison of predicted, measured and auralized sound fields with respect to speech intelligibility in classrooms using CATT Acoustic and ODEON // Acta Acustica united with Acustica. – 2008. – Vol. 94. – P. 883-890.
7. EASE features, Berlin, Germany. – <http://ease.afmg.eu/index.php/features.html>.
8. Воеводин В.В. Параллельные структуры алгоритмов и программ. – М.: ОВМ АН СССР, 1987. – 148 с.
9. Миков А.И., Замятина Е.Б. Распределенные системы и алгоритмы. Курс лекций. – М.: INTUIT, 2008. – 287 с.
10. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 430 с.
11. Chusov A.A. Applying methods of parallel and distributed computations for online-forecasting of sound velocity field stochasticity levels during acoustical experiments of long-distance propagation // Proc. of the Sci. Conf. “Session of the Scientific Council of Russian Academy of Science on Acoustics and XXV Session of the Russian Acoustical Society”. – 2012. – P. 493-496.
12. Чусов А.А., Стаценко Л.Г. Разработка адаптируемых распределенных систем параллельного моделирования, анализа и визуализации физических полей: монография. – Инженерная школа ДВФУ. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2014. – 166 с.
13. OMG Unified Modeling Language TM (OMG UML). OMG Document Number: formal/2015-03-01. – URL: <http://www.omg.org/spec/UML/2.5/PDF>.
14. Катунин Г.П., Лапаев О.А. Проектирование и расчет акустических параметров помещений: учеб. пособие. – Новосибирск: СибГУТИ, 2000. – 100 с.
15. Крендалл И. Б. Акустика. – М.: КомКнига, 2007. – 168 с.
16. Стаценко Л.Г., Паскаль Ю.В. Акустика студий звукового и телевизионного вещания. Системы озвучивания: учеб.-метод. пособ. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. – 96 с.
17. Chusov A.A., Statsenko L.G., Mirgorodskaya Yu.V. Physical fields parallel simulation using automated distributed systems // International Conference on Computational Science (ICCS 2013), Barcelona, Spain. – URL: <http://www.iccs-meeting.org/iccs2013/papers/schedule.php?session=W63b>.
18. Neubauer R., Kostek B. Prediction of the Reverberation Time in Rectangular Rooms with NonUniformly Distributed Sound Absorption // Archives of Acoustics. – 2001. – Vol. 26, No. 3. – P. 183-201.
19. Кулигин С.Н., Чусов А.А., Лысенко А.П., Стаценко Л.Г., Черкасова Н.А. Параллельный алгоритм численного моделирования акустического поля с учетом рассеивания звука при переотражениях // Вестник Инженерной школы ДВФУ. – 2016. – № 4 (29). – P. 16-23. – URL: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/4-29/1/>.
20. Международный стандарт ISO3382: – measurement of reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.

## REFERENCES

1. Lane M.Yu. Komp'yuternoe modelirovanie pri akusticheskom proektirovanii pomeshcheniya [Computer modeling in acoustic design of rooms], *Show-Master* [Show-Master], 2012, No. 2 (69), 88 p. Available at: [http://www.showmaster.ru/categories/kompyuternoe\\_modelirovanie\\_pri\\_akusticheskom\\_proektirovanii\\_pomeshcheniya.html](http://www.showmaster.ru/categories/kompyuternoe_modelirovanie_pri_akusticheskom_proektirovanii_pomeshcheniya.html).
2. Pompei A., Sumbatyan M.A., Todorov N.F. Virtual'nye komp'yuternye modeli v akustike pomeshcheniy: metod luchevykh traektoriy i algoritmy auralizatsii [Computer models in room acoustics: The ray tracing method and the auralization algorithms], *Akusticheskiy zhurnal* [Akusticheskiy zhurnal], 2009, Vol. 55, No. 6, pp. 760-771.



3. Akul'kin N.V., Maslov O.N. Imitatsionnoe modelirovanie statisticheskikh kharakteristik prostranstvenno-vremennykh signalov i volnovykh poley: nauchnoe izdanie [Simulation modeling of statistical characteristics of space-time signals and wave fields: scientific publication], *Radiotekhnika i elektronika* [Radio engineering and electronics], 2005, Vol. 50, No. 8, pp. 961-968. ISSN 0033-8494.
4. Chusov A.A., Mirgorodskaya Yu.V. Programmno-algoritmicheskoe obespechenie «Acoustic Modeler +» dlya akusticheskogo rascheta i ozvucheniya pomeshcheniy [Software and algorithmic support “Acoustic Modeler +” for acoustic calculation and sound of rooms], *Vologdinskie chteniya* [Vologda readings]. Vladivostok: Izd-vo DVG TU, 2009, pp. 85. ISSN 2219-7389.
5. Todorov N.F. Osobennosti auralizatsii i analiz sovremennogo sostoyaniya komp'yuternykh sistem modelirovaniya akustiki pomeshcheniy [Features of auralization and analysis of the current state of computer systems for modeling room acoustics], *Sb. trudov aspirantov i soiskateley RGU* [Collection of works of graduate students and applicants RSU – Collection of works of graduate students and applicants RSU]. Rostov-on-Don – TSVVR, 2007.
6. Hodgson M., York N., Yang W. Comparison of predicted, measured and auralized sound fields with respect to speech intelligibility in classrooms using CATT Acoustic and ODEON, *Acta Acustica united with Acustica*, 2008, Vol. 94, pp. 883-890.
7. EASE features, Berlin, Germany. Available at: <http://ease.afmg.eu/index.php/features.html>.
8. Voevodin V.V. Parallelnye struktury algoritmov i program [Parallel structures of algorithms and programs]. Moscow: OVM AN SSSR, 1987, 148 p.
9. Mikov A.I., Zamyatina E.B. Raspredeleynye sistemy i algoritmy. Kurs lektsiy [Distributed systems and algorithms. Lecture course]. Moscow: INTUIT, 2008, 287 p.
10. Norenkov I.P. Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya: ucheb. dlya vuzov [Basics of Computer Aided Design: university textbook]. 4th ed. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2001, 430 p.
11. Chusov A.A. Applying methods of parallel and distributed computations for online-forecasting of sound velocity field stochasticity levels during acoustical experiments of long-distance propagation, *Proc. of the Sci. Conf. “Session of the Scientific Council of Russian Academy of Science on Acoustics and XXV Session of the Russian Acoustical Society”*, 2012, pp. 493-496.
12. Chusov A.A., Statsenko L.G. Razrabotka adaptiruemykh raspredeleynykh sistem parallelnogo modelirovaniya, analiza i vizualizatsii fizicheskikh poley: monografiya [Developing adaptable distributed systems of parallel simulation, analysis, and visualization of physical fields: monography]. School of Engineering of FEFU. Vladivostok: Dal'nevost. federal. un-t, 2014, 166 p.
13. OMG Unified Modeling Language TM (OMG UML). OMG Document Number: formal/2015-03-01. Available at: <http://www.omg.org/spec/UML/2.5/PDF>.
14. Katunin G.P., Lapaev O.A. Proektirovanie i raschet akusticheskikh parametrov pomeshcheniy: ucheb. posobie [Design and calculation of acoustic parameters of the premises: university textbook]. Novosibirsk: SibGUTI, 2000, 100 p.
15. Krendall I.B. Akustika [Acoustics]. Moscow: KomKniga, 2007, 168 p.
16. Statsenko L.G., Paskal' Yu.V. Akustika studiy zvukovogo i televizionnogo veshchaniya. Sistemy ozvuchivaniya: ucheb.-metod. posob. [Acoustics sound and television broadcasting studios. Sound systems: study guide for universities]. Vladivostok: Izd-vo DVG TU, 2006, 96 p.
17. Chusov A.A., Statsenko L.G., Mirgorodskaya Yu.V. Physical fields parallel simulation using automated distributed systems, *International Conference on Computational Science (ICCS 2013), Barcelona, Spain*. Available at: <http://www.iccs-meeting.org/iccs2013/papers/schedule.php?session=W63b>.
18. Neubauer R., Kostek B. Prediction of the Reverberation Time in Rectangular Rooms with NonUniformly Distributed Sound Absorption, *Archives of Acoustics*, 2001, Vol. 26, No. 3, pp. 183-201.
19. Kuligin C.N., Chusov A.A., Lysenko A.P., Statsenko L.G., Cherkasova N.A. Parallelnyy algoritm chislennogo modelirovaniya akusticheskogo polya s uchetom rasseivaniya zvuka pri pereotrazheniyakh [Parallel algorithm for numerical simulation of the acoustic field taking into account sound scattering by re-reflections], *Vestnik Inzhenernoy shkoly DVFU* [Bulletin of FEFU Engineering school], 2016, No. 4 (29), pp. 16-23. Available at: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/4-29/1/>.

20. Mezhdunarodnyy standart ISO3382: – measurement of reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters [International Standard ISO3382: – measurement of reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters].

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор П.А. Стародубцев.

**Миргородская Юлия Вячеславовна** – Дальневосточный федеральный университет, Инженерная школа; e-mail: mirgorodskaya\_82@mail.ru; 690950, г. Владивосток, ул. Суханова 8, тел.: +79242328549; кафедра электроники и средств связи; аспирант.

**Стаценко Любовь Григорьевна** – e-mail: lu-sta@mail.ru; тел.: +79025246057; кафедра электроники и средств связи; зав. кафедрой; д.ф.-м.н.; профессор.

**Чусов Андрей Александрович** – e-mail: lpsztemp@gmail.com; кафедра электроники и средств связи; к.т.н.; доцент.

**Черкасова Нина Александровна** – e-mail: ninok2801@mail.ru; тел.: +79644427540; кафедра электроники и средств связи; магистрант.

**Бернавская Майя Владимировна** – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; e-mail: bernavskaya@mail.ru.; Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; к.п.н.; доцент.

**Mirgorodskaya Yulia Vyacheslavovna** – Far Eastern Federal University, Engineering School; e-mail: mirgorodskaya\_82@mail.ru; 8, Suhanova street, Vladivostok, 690950, Russia; phone: +79242328549; the department of electronics and communication; postgraduate.

**Statsenko Lubov' Grigor'evna** – e-mail: lu-sta@mail.ru; phone: +79025246057; the department of electronics and communication; head of department; cand. of phis.-math. sc.; professor.

**Chusov Andrej Aleksandrovich** – e-mail: lpsztemp@gmail.com; the department of electronics and communication; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Cherkasova Nina Aleksandrovna** – e-mail: ninok2801@mail.ru; the department of electronics and communication; undergraduate.

**Bernavskaya Maya Vladimirovna** – Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University; e-mail: bernavskaya@mail.ru; 29, Politekhnikeskaya street, Saint Petersburg, Russia; cand. of ped. sc.; associate professor.