

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ НАН БЕЛАРУСИ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ЯНКИ КУПАЛЫ»



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Материалы
IV международной научной конференции,
посвящённой 95-летию со дня рождения
члена-корреспондента Академии наук БССР,
профессора Иванова Евгения Алексеевича

(Республика Беларусь, Гродно,
17–20 декабря 2019 г.)

Гродно
ГрГУ им. Я. Купалы
2019

УДК 517.9
ББК 22.161.6
М34

Редакционная коллегия:
В. И. Корзюк (гл. ред.), *С. Г. Красовский*,
И. П. Мартынов, *В. Г. Родченко*, *Г. Ч. Шушкевич*

Математическое моделирование и дифференциальные уравнения :
М34 материалы IV междунар. науч. конф., посвящ. 95-лет. со дня рожд.
чл.-кор. АН БССР, проф. Иванова Евгения Алексеевича (Респ. Беларусь,
Гродно, 17–20 дек. 2019 г.) / Ин-т математики НАН Беларуси, БГУ,
ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: В. И. Корзюк (гл. ред.) [и др.] – Гродно :
ГрГУ, 2019. – 141 с.

ISBN 978-985-582-308-8

Содержатся доклады, представленные на IV международной научной конференции «Математическое моделирование и дифференциальные уравнения». Рассмотрены вопросы математического моделирования, теории уравнений с частными производными и математической физики, теории обыкновенных дифференциальных уравнений и их приложений, информационных технологий в моделировании и управлении, преподавания математического моделирования в высших учебных заведениях. Адресовано специалистам в указанных областях.

УДК 517.9
ББК 22.161.6

ISBN 978-985-582-308-8

© Коллектив авторов, 2019
© Учреждение образования
«Гродненский государственный университет
имени Янки Купалы», 2019

В. В. Митянок

**О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА АППРОКСИМАЦИИ В ЗАДАЧАХ,
СВЯЗАННЫХ С АВТОМАТИЧЕСКИМ РАСПОЗНАВАНИЕМ РЕЧИ**

Как хорошо известно, метод преобразований Фурье, используемый для анализа (квази)периодических сигналов, обладает рядом недостатков. В связи с этим в [1–4] был предложен метод аппроксимации, свободный от них. Метод основан на функционале

$$\begin{aligned} S = & \sum_{i=1}^n [y(t_i) - y_1(t_i)]^2 + \alpha \sum_{k=1}^{n-1} (b_{0,i} - b_{0,i+1})^2 + \\ & + \alpha \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^{n-1} (a_{k,i} - a_{k,i+1})^2 + \alpha \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^{n-1} (b_{k,i} - b_{k,i+1})^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где $y(t_i)$ – зависящая от времени аппроксимируемая функция, описывающая сигнал и заданная своими значениями в n последовательных моментах времени от t_1 до t_n , а $y_1(t_i)$ – аппроксимирующая функция

$$y_1(t_i) = b_{0,i} + \sum_{k=1}^l [a_{k,i} \sin(\omega_k t_i) + b_{k,i} \cos(\omega_k t_i)], \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

$b_{0,i}$ – дрейфующий нуль, $a_{k,i}$, $b_{k,i}$ – дрейфующие (т.е. слабо зависящие от времени) амплитуды синус- и косинус- волн, ω_k – их несущие частоты, l – количество волн (мод) в аппроксимирующей функции. Выражение (2) несложно записать с привлечением фаз.

Как обычно делается в методе наименьших квадратов, функционал (1) подвергается дифференцированию по $b_{0,i}$, $a_{k,i}$, $b_{k,i}$. Далее результаты приравняются нулю, в результате чего получается система линейных алгебраических уравнений, решение которой подлежит подстановке в (2). Если затем вычесть (2) из исходного звука и подвергнуть разность преобразованиям Фурье, то выясняется, что часто существуют еще какие-то несущие частоты, которые не были замечены при первом разложении в ряд (интеграл) Фурье по причине малой интенсивности несомых ими мод. В частности, этим способом в [1–4] было установлено, что в спектре многих звуков присутствуют полуцелые (по отношению к базовой) несущие частоты. Выяснилось также, дрейфующие амплитуды (и фазы) хаотически вибрируют вокруг их средних значений. Сам факт хаотичного поведения амплитуд и фаз наводит на мысль о том, что хаотичность – это нечто привнесенное, не имеющее отношения к индивидуальности звуков. Так и оказалось. Если дрейфующие амплитуды усреднить по длительному отрезку звучания, и затем заменить фактические дрейфующие амплитуды их усредненными значениями, постоянными по всему отрезку звучания, то звук, полученный после такого искажения амплитуд, звучит так же, как и исходный. Однако при замене фаз на константы звук портится, превращаясь в нечто вроде зуммера.

В поисках объяснений этому явлению были проделаны следующие математические эксперименты. Усредненный амплитудный спектр каждого из изучаемых звуков соединялся в формуле (2) с дрейфующими фазами от любого другого из этих же звуков и от любого из других респондентов. После такой операции звук не менялся, звучал четко и соответствовал именно амплитудам. Так чем же объясняется ухудшение качества звука при замене дрейфующих фаз на константы? Оказалось, что во всех случаях реальные фазы дрейфуют (плавают) вокруг неких средних значений с неустойчивым периодом от 1.5 до 2.5 Гц и с неустойчивой амплитудой в 0.5–2 радиан. Они «испорчены». В связи с этим возникло предположение, что именно так и должно быть: мозг слушателя уже готов к тому, что диктор будет производить сигнал с испорченной фазой, а звук с неиспорченной фазой мозгом слушателя за осмысленный звук не воспринимается. Это предположение оправдалось. Когда в качестве фаз принималась хаотически меняющаяся (в определенных рамках) величина, то звук вновь звучал четко и распознаваемо.

Для синтеза звуков, как один из вариантов, можно принять формулу

$$y_1(i) = \sum_{k=1}^l c_k \sin(\omega_k i + kp \sin(i/3300) + r_k), \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где c_k – усредненные значения амплитуд, r_k – массив произвольных чисел, n – длина отрезка звучания (в отсчетах дискретизации). Множитель p в (3) может принимать любое значение в интервале [1...10]. Внутренний синус в (3) обеспечивает порчу фазы. Возможны и другие варианты порчи фаз.

Список литературы

1. Митянок В.В. *О генерировании некоторых искусственных звуков и слов речи человека* // Техн. акустика. Электрон. журн. 2017. № 1. [<http://www.ejta.org>].
2. Митянок В.В., Коновалова Н.В. *Применение фазового анализа звуков речи для распознавания человека по его голосу* // Техн. акустика. Электрон. журн. 2013. № 4. [<http://www.ejta.org>].

3. Митянок В.В. *О физической структуре звуков З, ЗБ, Ж, ЖБ* // Техн. акустика. Электрон. журн. 2014. № 9. [<http://www.ejta.org>].

4. Митянок В.В. *К проблеме идентификации и верификации личности по фазовым характеристикам звуков речи* // Техн. акустика. Электрон. журн. 2015. № 7. [<http://www.ejta.org>].

СОДЕРЖАНИЕ

Жизненный путь Евгения Алексеевича Иванова	3
Жизненный путь Николая Ивановича Бриша	6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Годунова М. А. Динамические модели роста с памятью в макроэкономических исследованиях	8
Дымков М. П. Задача оптимизации в линейных двухпараметрических дискретных системах типа Вольтерры	9
Заяц Г. М., Громыко Г. Ф., Максимов М. С. Численное моделирование экранирования импульсных магнитных полей многослойным цилиндрическим экраном	11
Козлов А. А., Александрович Т. А. Равномерная полная управляемость линейных дискретных систем с изменяющейся структурой	13
Копать Д. Я., Маталыцкий М. А. Анализ ожидаемого дохода в открытой сети с ограниченным числом заявок и случайным временем их ожидания в очередях	14
Метельский А. В., Хартовский В. Е. О проектировании финитных наблюдателей для линейных систем нейтрального типа	16
Мисюк В. Р. Об одном применении теории интерполяционных пространств в рациональной аппроксимации	18
Павловская А. Т. Модальная управляемость линейных систем нейтрального типа регулятором специального вида	19
Переварюха А. Ю. О моделировании сценариев опасных инвазионных явлений в биосистемах	20
Пилипчук Л. А., Полячок Е. Н. Моделирование процессов оценки неоднородных потоков в мультисетях с реальными данными	22
Лаврова О. А., Полевиков В. К. Численное моделирование диффузии частиц в кольцевом магнитожидкостном экране	24
Радыно А. Я. Модель иерархической нейронной сети на кольце целых p -адических чисел	26
Русилко Т. В., Галицкая-Петровская А. О. Об ожидаемом доходе открытой сети обслуживания с ограниченным числом заявок	27
Труш Н. Н., Жоль Е. Л. Моделирование процессов GARCH(1,1) с умеренно устойчивыми инновациями и исследование мер риска	29
Хартовский В. Е. Об асимптотической оценке решения линейных систем нейтрального типа	31
Хацкевич Г. А., Проневич А. Ф. Производственные функции с заданной дробно-линейной предельной нормой замещения труда капиталом	33
Чичурин А. В., Зацук Е. Н. Построение решений модели хемостата, описывающих конкуренцию между микроорганизмами	36
Шушкевич Г. Ч. Экранирование электростатического поля тонкой сплюснутой незамкнутой эллипсоидальной оболочкой в присутствии сферы	37
Юсуфов А. Т. Функционалы отбора в математических моделях структурированных биологических систем	38

УРАВНЕНИЯ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Акимов В. А. Построение бигармонической функции, удовлетворяющей однородным граничным условиям	41
Андрушкевич И. Е. Солитонные решения уравнения нелинейной струны	42
Баркова Е. А. О существовании решений интегро-дифференциальных уравнений с частными производными	43

Гладков А. Л., Кавитова Т. В. О положительности решений начально-краевой задачи для нелинейного параболического уравнения с нелинейным нелокальным граничным условием	45
Карачик В. В. О достаточных условиях разрешимости задач типа Неймана для полигармонического уравнения в шаре	46
Каримов К. Т. Нелокальная задача с интегральным условием для трёхмерного уравнения смешанного типа с сингулярными коэффициентами в полубесконечном параллелепипеде	48
Корзюк В. И., Козловская И. С., Соколович В. Ю. Решение волнового уравнения в четверти плоскости	49
Корзюк В. И., Наумовец С. Н., Севастюк В. А. Классическое решение смешанной задачи для одномерного волнового уравнения с производными второго порядка в граничных условиях	51
Корзюк В. И., Столярчук И. И. Классическое решение смешанной задачи для уравнения Клейна–Гордона–Фока с условием первого рода и интегральным условием	53
Корлюкова И. А., Морозова И. М., Пантелеева Ж. И., Шамукова Н. В. Распределение алгебраических чисел с малым значением минимального многочлена и их применение в задачах математической физики	55
Малай Н. В., Глушак А. В., Ефимцева Д. Н. Решение краевой задачи для конвективного уравнения теплопроводности в сферической системе координат	56
Никитин А. И. Принцип сравнения решений начально-краевой задачи для системы полудиффузионных параболических уравнений с нелинейными нелокальными граничными условиями Дирихле	58
Ревякин А. М., Терещенко А. М. Амплитудный анализ волновых процессов по уравнению Кортевега–де Фриза	59
Усков В. И. Решение уравнения в частных производных первого порядка в банаховом пространстве	60
Чжан Б., Мартынов И. П. О рациональных и солитонных решениях уравнения пятого порядка в частных производных	61
Шилинец В. А. Решение системы дифференциальных уравнений в частных производных с помощью F-моногенных гиперкомплексных функций	63
Fimin N. N. The hydrodynamic coherent systems and metric structures on the Monge manifolds	64
Primachuk L. P., Rogosin S. V., Dubatovskaya M. V. Explicit solution to \mathbb{R} -linear conjugation problem. An example	65

ОБЫКНОВЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Амелькин В. В., Тыщенко В. Ю. О существовании изолированных интегральных торов дифференциальных систем	68
Андреева Т. К., Березкина Н. С., Пронько В. А. Об одном классе систем двух дифференциальных уравнений произвольного порядка без подвижных многозначных особых точек	69
Антоневич А. Б., Архипенко О. А. О спектрах краевых задач для разностных уравнений	71
Быков В. В. Описание показателей Ляпунова непрерывных семейств линейных дифференциальных систем с неограниченными коэффициентами	72
Ветохин А. Н. О множествах точек полунепрерывности топологической энтропии семейств динамических систем, непрерывно зависящих от параметра	74
Гончарова М. Н. Замечания о решении одной задачи быстрогодействия с фазовым ограничением	76
Гринь А. А., Рудевич С. В. Признак Дюлака–Черкаса для установления точного числа предельных циклов автономных систем на цилиндре	78
Денисов В. С. Существование предельных циклов автономной системы с монотонной нечётной нелинейностью по одной переменной	80
Детченя Л. В., Садовский А. П. Семикратные фокусы кубических систем Куклеса	82
Жук А. И. Ассоциированные решения систем автономных дифференциальных уравнений	83
Игнатенко М. В., Янович Л. А. Об одной интерполяционной формуле лагранжева типа для обыкновенных дифференциальных операторов	85

Кирчук Е. М. Применение рядов Ляпунова в аналитической теории дифференциальных уравнений	87
Коральков А. Д., Овсюк Е. М. Частица со спином 1 и электрическим квадрупольным моментом в кулоновском поле. Нерелятивистская теория	88
Краютко В. В., Размыслович Г. П., Горячкин В. В. Асимптотические методы в задачах оптимального управления	91
Кулеш Е. Е., Пецевич В. М., Селивёрстова А. О. Необходимые условия наличия свойства Пенлеве у дифференциальной системы специального вида	92
Мусафиров Э. В. Допустимые возмущения L-системы Спротта	93
Размыслович Г. П., Филипцов А. В. Применение операционного исчисления для вычисления матричной экспоненты	95
Садовский А. П. Комплексные кубические системы с фокусом 14 порядка	96
Усков В. И. Модификация метода каскадной декомпозиции для алгебро-дифференциального уравнения первого порядка	97
Хвоцинская Л. А. Построение дифференциального уравнения с группой монодромии третьего порядка и тремя особыми точками	97
Цегельник В. В. Аналитические свойства решений семейства трёхмерных автономных хаотических систем с поверхностями равновесия	99
Чергинев Д. Н. Аналитическая неразрешимость проблемы центра и фокуса	100
Чжан Б. Рациональное решение автономного дифференциального уравнения второго порядка	101
Чжан Б., Ванькова Т. Н., Мартынов И. П., Пронько В. А. Общее рациональное решение одного дифференциального уравнения третьего порядка	103
Чэнь Ян. Качественное исследование автономной квадратичной дифференциальной системы третьего порядка	104
Skoromnik O. V., Papkovich M. V. Multidimensional H-transform in the weighted space of summable functions	106
Tsekhan O., Pawluszewicz E. Stability and stabilizability of singularly perturbed system on time scales on the basis of decomposition	107

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ

Белодед Н. И., Шпакова У. Ю. Метод экспертной оценки как инструмент оценки качества образования	110
Кедало П. А., Ассанович Б. А. Информационные технологии в моделировании и управлении работой в медицинском учреждении	111
Масловская Н. М., Белодед Н. И. Информационные технологии электронного бизнеса ..	113
Митянок В. В. О применении метода аппроксимации в задачах, связанных с автоматическим распознаванием речи	114
Родченко В. Г. Автоматическое построение классификатора на основе анализа данных обучающей выборки	116
Семенчук Н. В., Банюкевич Е. В. Структурный анализ временного ряда с помощью вейвлетов	118
Семенчук Н. В., Дейцева А. Г. Применение оценок спектральных плотностей с заданной точностью для анализа производственных данных	120
Трубников Ю. В., Чернявский М. М. О линейной связи между корнями полиномов шестой и третьей степеней	122
Kuzniatsou V. V., Marko A. F., Karpovich S. E. Algorithmization and modeling of multi-coordinate mechatronic systems	124

ПРЕПОДАВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Белодед Н. И., Болкунович А. П., Васильева В. А. Преподавание математического моделирования в высших учебных заведениях	126
--	-----

Булатов В. И., Голухов В. Г., Кастрица О. А., Мазаник С. А. Элементы математического моделирования при изучении фундаментальных математических дисциплин на младших курсах ФПМИ БГУ	127
Коноплева И. В., Знаенко Н. С., Миронова Л. В. О методическом обеспечении спецкурса «Математическое моделирование в области поиска, спасания и обеспечения авиационной безопасности»	128
Шушкевич Г. Ч., Шушкевич С. В. Об опыте применения системы Mathcad в компьютерном моделировании	131
Авторы докладов	133