



**ЛАБОРАТОРИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
КАФЕДРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ**



Лаборатория математических проблем естественных наук – это лаборатория промышленной («интердисциплинарной») математики на механико-математическом факультете МГУ.

В течение последних лет группа сотрудников кафедры дифференциальных уравнений МГУ и Института проблем механики РАН активно участвовала в ряде прикладных научных проектов с российскими корпорациями «Уралхим» и «Уралкалий», с Университетом штата Пенсильвания (США), НТЦ «Космонит» ОАО «Российские космические системы», а также с некоторыми другими промышленными организациями. Результаты этого сотрудничества стали основой для создания прикладной лаборатории.

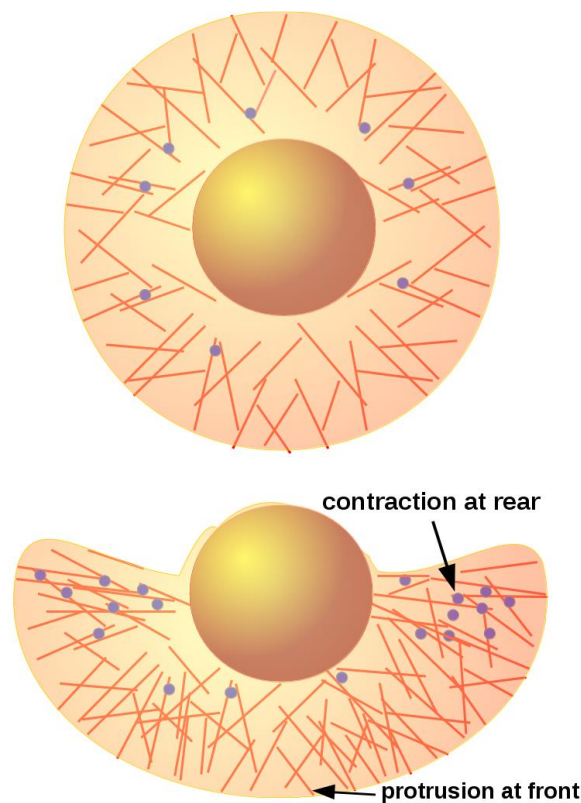
Математическая биология

1. Хемотаксис

Направленное движение клеток и ансамблей клеток в живых организмах давно привлекало внимание биологов, биохимиков, биофизиков и математиков, создающих математические модели такого движения. Примером может служить направленное движение кровяных частиц к месту пореза на теле человека, выталкивание клетками инородных частиц, преследование «врагов»-бактерий, согласованное движение клеток эпителия к месту ранения с целью регенерации поврежденных тканей и пр. Каким-то образом клетка или группа клеток решает, куда и когда надо «идти».

Проблема направленного движения отдельных клеток и ансамбля клеток как целого— одна из самых актуальных и современных задач современной математической биологии. Построение адекватных математических моделей такого движения очень актуально для проблем медицины и фармакологии. Кроме того, это направление приводит к новым и интересным задачам теории уравнений с частными производными: существование решений типа «бегущих волн» у уравнений и систем параболического типа с нелинейными членами; корректность постановки краевых задач для нелинейных параболических и парабо-эллиптических систем с неклассическими краевыми условиями— они могут быть заданы на неизвестной границе, которая движется с течением времени, и нелокальными, т.е. связывать граничные значения в различных точках границы.

Математические постановки таких задач еще далеко не изучены как с точки зрения качественных свойств, так и с точки зрения построения адекватных численных алгоритмов решения и построения алгоритмов идентификации параметров. Мы собираемся продолжить исследования с точки зрения математики.



2. Физика активных гелей

Очень интересными с теоретической и практической точки зрения являются задачи построения адекватных моделей сред с «активными» элементами. Например, в работах Л.Берлянда показано строгими методами на основе математической модели, что в жидкости с бактериями, которые могут активно реагировать на окружающую обстановку, резко меняется (уменьшается в разы!) вязкость. Позднее эти работы послужили основой для создания уже чисто химическими методами (при отсутствии каких-либо «живых» элементов) жидкостей с очень низкой вязкостью, которые используются в качестве чернил для современных 3D-принтеров. Мы считаем эти исследования очень перспективными. Наша группа предлагает продолжить их, расширив круг моделей сред с активными элементами. Это могут быть иные сплошные среды (не обязательно классические жидкости) и в качестве активных элементов рассмотрены не обязательно бактерии.

Искусственный интеллект

Часто модели исследуемых систем могут содержать параметры, которые не удастся получить из “первых принципов”, они имеют “феноменологическую” природу, но они могут быть определены путем настройки параметров модели под результаты тех или иных экспериментов. Здесь существенную помощь может оказать применение современных методов искусственного интеллекта, применение электронных самообучающихся систем. Большую роль будут играть различные методы оптимизации, с помощью которых может быть осуществлен поиск неизвестных параметров модели. Здесь к минимуму должна быть сведена невязка между некоторым набором экспериментальных данных и набором расчетных данных, в которые входят параметры, величину которых нужно идентифицировать.

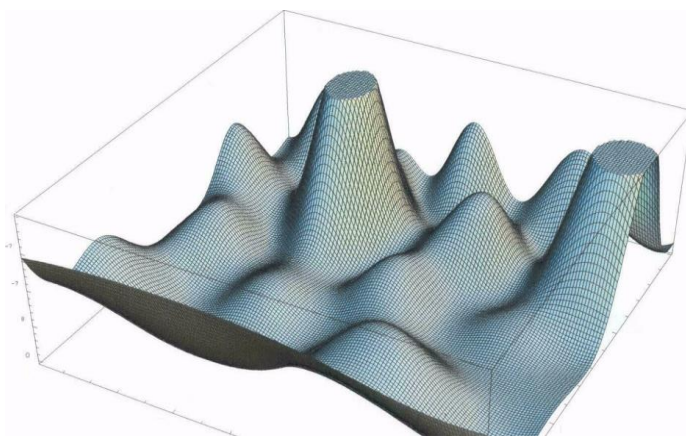


Суперкомпьютер «Ломоносов», установленный в Московском университете в 2009 году

Обратные задачи электродинамики

1. Голографические методы

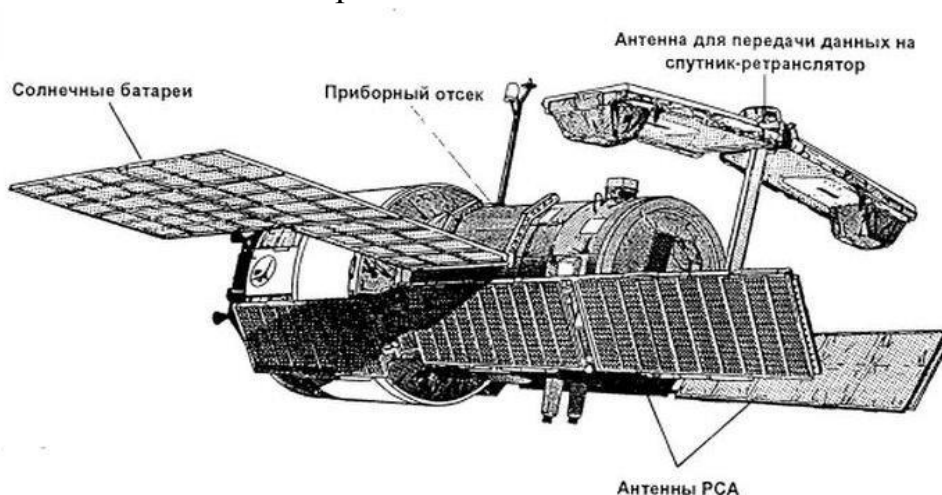
Исследование субволновых возможностей голографических методов. Проблемы восстановления голографическими методами пространственной структуры молекулы по интерференционной картине рассеянного на молекуле расходящегося электронного пучка и опорного также расходящегося электронного пучка. Возможные применения— синтез новых лекарственных препаратов.



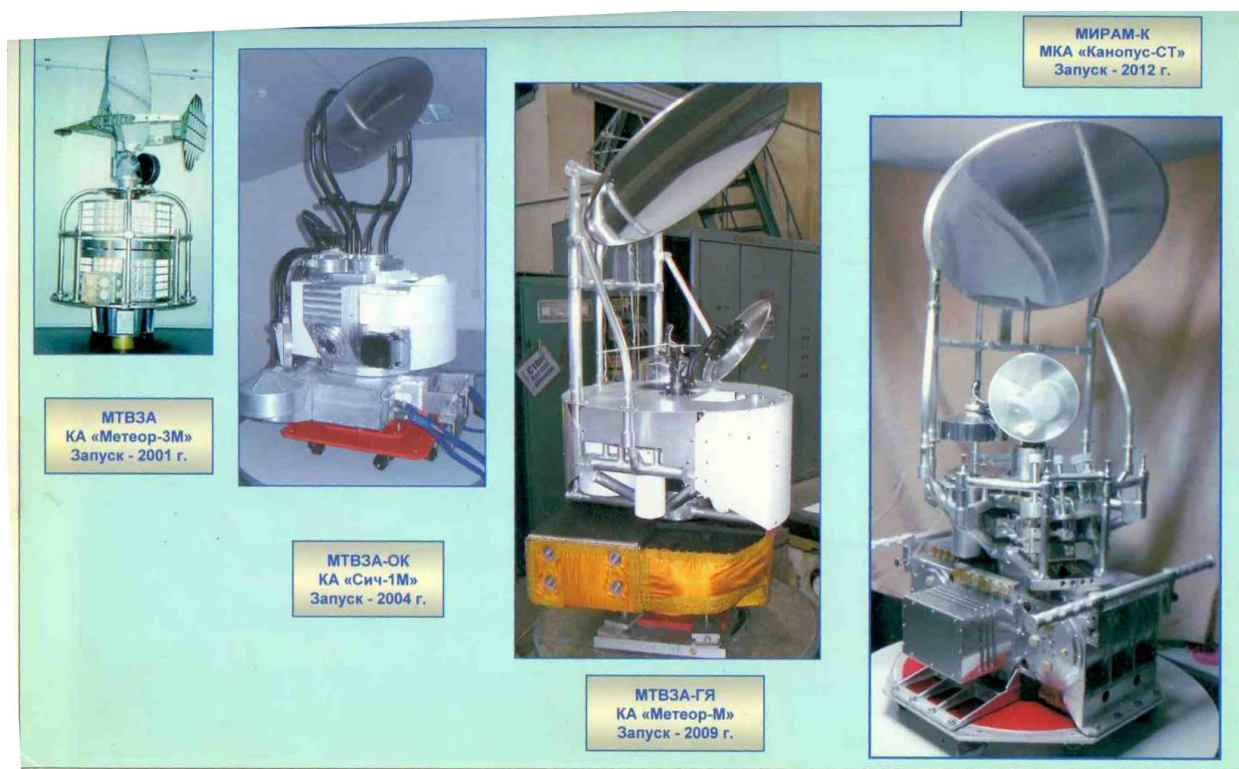
2. Радиометрические и радиолокационные исследования мирового океана

Проблемы радиометрических и радиолокационных исследований мирового океана, совместно с ОАО «Космонит» ОАО «Российские космические системы». Основная проблема— восстановление параметров морского волнения по собственному радиоизлучению океана или отраженным радиосигналам. Созданы программы моделирования собственного и отраженного радиоизлучения участка морской поверхности.

Активная и пассивная космическая радиолокация



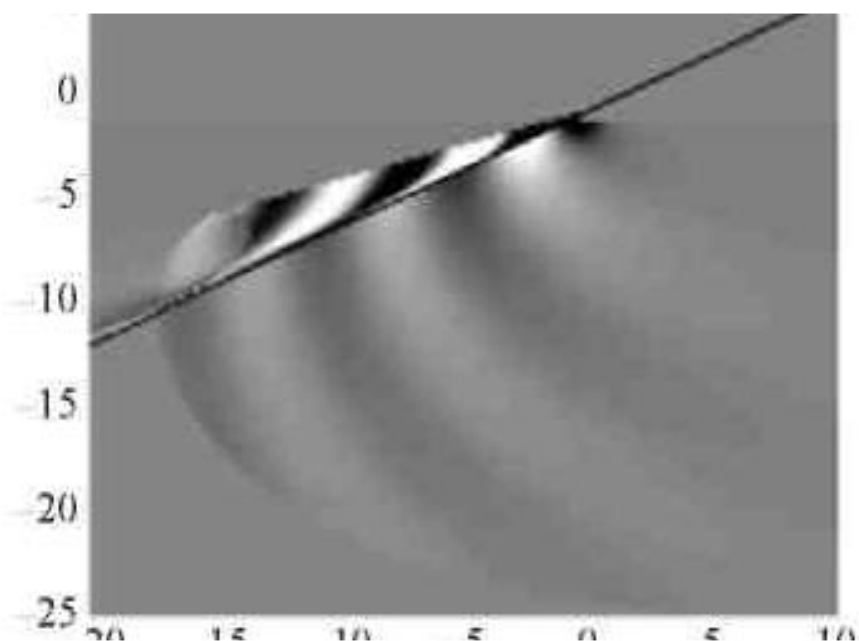
Almaz-1A



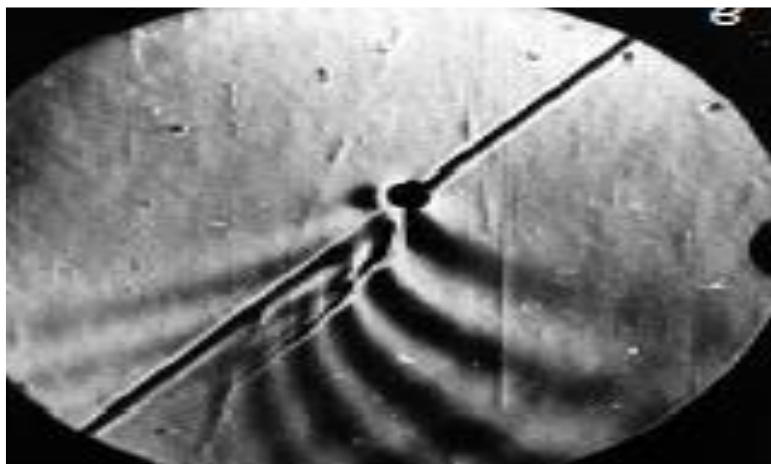
Радиометры

Внутренние волны в океане. Теория и эксперимент

Проблема состоит в создании адекватной модели волнового движения жидкости, вызванного движущимся объектом.



Результат математического моделирования

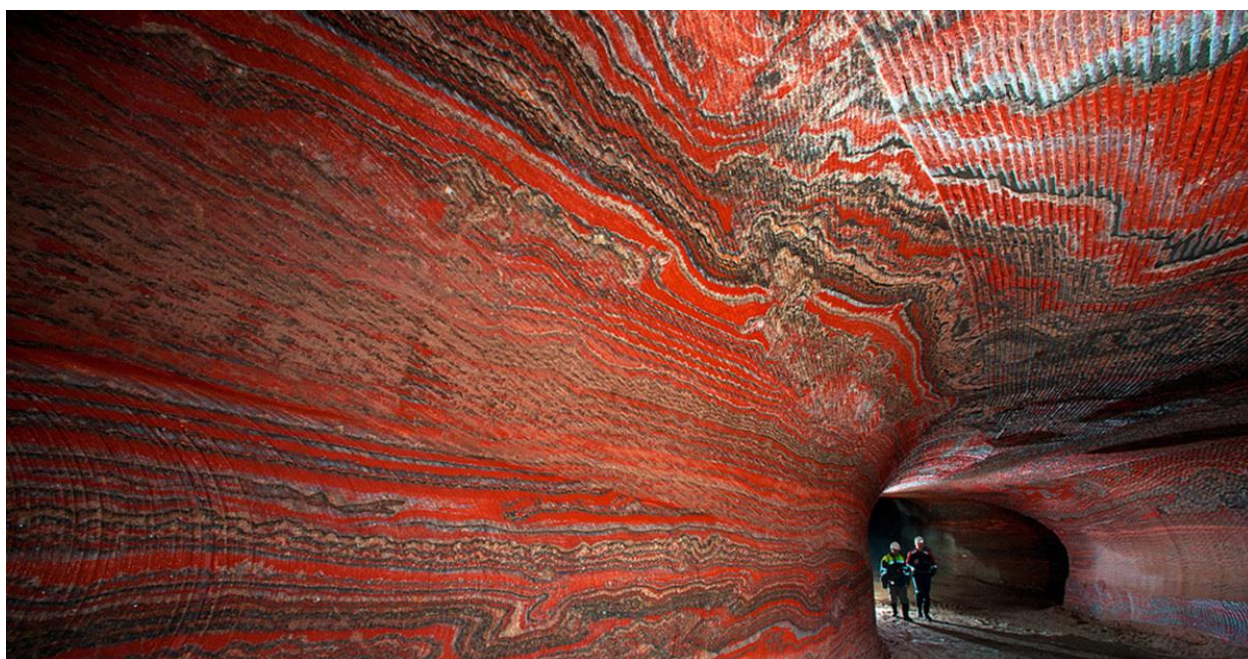


Результат эксперимента

Математическое моделирование рудников

Совместные проекты с компаниями "Уралхим" и "Уралкалий" относятся к математическому моделированию упругопластических свойств соляных пород, процессов ползучести, пластичности и трещинообразования в соляных рудниках Пермского края. Совместная деятельность тесно связана с вопросами безопасности горных разработок в калийных шахтах. Эта тематика в последнее время стала очень актуальной в связи с несколькими авариями на соляных шахтах в окрестностях города Березняки. Планируется разработка математической модели всей калийной выработки в г.Березняки (Пермский край) с целью прогнозирования явлений, которые могут привести к авариям в будущем.

Условное название проекта– «виртуальный рудник», в настоящее время получены аналитические представления для эффективных характеристик процессов ползучести соляных пластов с глинистым прослойками.



Слоистые соляные горные породы (г.Березняки)

Финансовая математика

В течение почти двадцати последних лет на кафедре дифференциальных уравнений работает семинар «Математические модели в экономике» (рук. - проф. О.С. Розанова и А.С. Шамаев). Среди участников семинара около 150 дипломников механико-математического факультета, дипломные работы которых были так или иначе связаны с математическими моделями в экономике. Нас интересуют более всего оригинальные и новые постановки краевых задач для дифференциальных и интегро-дифференциальных

уравнений и систем, которые возникают (а это именно так!) в современной финансовой математике и экономике вообще. В качестве примеров приводим три кандидатские диссертации участников нашего семинара - [К. Хорева](#) (краевые задачи с неизвестной границей, связанные с анализом кредитных рынков), [Г. Камбарбаевой](#) (уравнения типа Фоккера-Планка, возникающие в проблеме управления инвестиционным портфелем, активы которого моделируются стохастическими дифференциальными уравнениями), [А. Чечкина](#) (задачи Коши для параболических уравнений с полиномиальными коэффициентами, возникающие в проблемах управления активами и проблемах хеджирования), статью [А. Асекова и А. Шамаева](#), посвященную построению аналога эффективного фронта в задаче управления активами, в которой используются теоремы Фредгольма для эллиптических операторов в неограниченных областях. Интересные и новые математические проблемы возникают при построении моделей активов с учетом психологии участников рынка (О.С. Розанова). Мы собираемся продолжать практически значимые исследования по финансовой математике в рамках создаваемой лаборатории.

Динамика атмосферы

1. Исследование больших атмосферных вихрей

Изучение возможных траекторий долгоживущих крупномасштабных атмосферных вихрей (тайфунов или ураганов), сравнение с реальными траекториями. Исследование их структуры, условий образования, устойчивости в рамках двумерных и трехмерных моделей. Аппроксимации полной модели. Изучение влияния топографии на траекторию движения вихрей. Сотрудничество с учеными Тайваня, Китая, США, Франции.

1. [Rozanova, O.S., Turzynsky, M.K. \(2018\) Nonlinear stability of localized and non-localized vortices in rotating compressible media, Theory, Numerics and Applications of Hyperbolic Problems, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, v. 236, 567-580.](#)
2. [Rozanova, O.S., Turzynsky, M.K. \(2018\) On Systems of Nonlinear ODE Arising in Gas Dynamics: Application to Vortical Motion, Differential and Difference Equations with Applications. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, v. 230, 387-398.](#)
3. [Rozanova O.S. \(2016\) Frozen and almost frozen structures in the compressible rotating fluid Bulletin of the Brazilian Mathematical Society, 47, № 2, 715-726.](#)
4. [Rozanova Olga, Yu Jui-Ling, Hu Chin-Kun \(2012\) On the position of vortex in a two-dimensional model of atmosphere, Nonlinear Analysis: Real World Applications, 13, 1941-1954.](#)
5. [Rozanova Olga S., Yu Jui-Ling, Hu Chin-Kun \(2010\) Typhoon eye trajectory based on a mathematical model: comparing with observational data, Nonlinear Analysis: Real World Applications, 11, № 3, 1847-1861.](#)

ПУБЛИКАЦИИ

«Bifurcation of traveling waves in a keller-segel type free boundary model of cell motility», Leonid Berlyand, Jan Fuhrmann, and Volodymyr Rybalko, Communications in Mathematical Sciences, V.16, No 3, pp. 735-762 (2018).

«Effective viscosity of bacterial suspensions: a three-dimensional PDE model with stochastic torque» Brian M. Haines, Igor S. Aranson, Leonid Berlyand, and Dmitry A. Karpeev, Comm. Pure Appl. Anal., v. 11(1), pp. 19-46 (2012).

”Effective Viscosity of Dilute Bacterial Suspensions: A Two-Dimensional Model” B.Haines, I.Aronson, Leonid Berlyand and D.Karpeev, Physical Biology, 5:4, 046003 (9pp) (2008).

Bobyleva T.N., Shamaev A.S. An Efficient Algorithm for Calculating Rheological Parameters of Layered Soil Media Composed from Elastic-Creeping Materials // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2017. Vol. 54, № 4. P. 224–230.

Shamaev A. S.; Shumilova V. V. Asymptotic Behavior of the Spectrum of One-Dimensional Vibrations in a Layered Medium Consisting of Elastic and Kelvin-Voigt Viscoelastic Materials // Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics. 2016. Vol. 295, № 1. P. 202-212.

Shamaev A. S.; Shumilova V. V. Homogenization of the Equations of State for a Heterogeneous Layered Medium Consisting of Two Creep Materials // Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics. 2016. Vol. 295, № 1. P. 213-224.

Shamaev A. S.; Shumilova V. V. Passage of a plane acoustic wave through a layered composite with components of elastic and viscoelastic materials // Acoustical Physics. 2015. Vol. 61, № 1. P. 8-18.

Shamaev A. S.; Shumilova V. V. Reflection of a plane acoustic wave from the interface between an elastic material and a layered elastic-fluid medium // Fluid Dynamics. 2014. Vol. 49, № 6. P. 740-747.

Gavrikov A.A. Small oscillations of an emulsion of two weakly viscous compressible liquids // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. 2013. V. 77. I. 5. P. 519-531.

Gavrikov A.A., Knyazkov D., Melnikov A.M., Shamaev A.S., Vedeneev V.V. On limits of applicability of the homogenization method to modeling of layered creep media // IFAC-PapersOnline, V. 51, № 2, P. 144-149.

Shamaev A., Knyazkov D. An Effective Method of Electromagnetic Field Calculation // Lecture Notes in Computer Science. 2013. V 8236, P. 487-494.

Knyazkov D. Web-interface for HPC computation of a plane wave diffraction on a periodic layer // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2017. V. 38, № 5, P. 936-93.

Князьков Д.Ю. Обратная задача дифракции электромагнитной волны на плоском слое // Программные системы: теория и приложения. 2017. Т. 9, № 1, с. 21-36.

Князьков Д. Ю. Эффективные методы расчета электромагнитных полей // Выч. мет. программирование, 13:1 (2012), 263–270.

A. Gavrikov, D. Knyazkov, A. Romanova, V. Chernik, A. Shamaev Modeling of the effect of surface waves on the spectrum of the ocean own radiation

(in Russian :Моделирование влияния волнения поверхности на спектр собственного излучения океана / А. А. Гавриков, Д. Ю. Князьков, А. В. Романова и др. //

Программные системы: теория и приложения. — 2016. — Т. 7, № 2. — С. 73–84.

Асташова И.В. О степенном асимптотическом поведении сингулярных решений слабо нелинейных дифференциальных уравнений типа Эмдена–Фаулера высокого порядка // Дифференциальные уравнения. 2017. Т. 53, № 11, с. 1575-1576.

Асташова И.В. О существовании исчезающих на бесконечности положительных решений дифференциальных уравнений второго порядка с гиперболической нелинейностью // Дифференциальные уравнения. 2016. Т. 52, № 6, с. 838-839.

Асташова И.В. Об асимптотическом поведении решений дифференциальных уравнений с сингулярной нелинейностью // Дифференциальные уравнения. 2014. Т. 50, № 11, с. 1551-1552.

Капустина Т.О. Асимптотические решения сингулярно возмущенной задачи Коши для параболического уравнения с разрывными коэффициентами // Дифференциальные уравнения, издательство Наука (М.), том 36, № 5, с. 662-666.

Kapustina T. On the boundary-value problem for a mixed-type equation: Asymptotic analysis and an effective numerical algorithm // Moscow University Computational Mathematics and Cybernetics. 2017. Т. 41, № 4, с. 157-164.

Rozanova, O.S., Turzynsky, M.K. Nonlinear stability of localized and non-localized vortices in rotating compressible media // Theory, Numerics and Applications of Hyperbolic Problems. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics. 2018. V. 236, p. 567-580.

Rozanova O.S., Turzynski M.K. On Systems of Nonlinear ODE Arising in Gas Dynamics: Application to Vortical Motion // Differential and Difference Equations with Applications. ICDDEA 2017. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics. 2018 V. 230, p. 387-398.

Rozanova O. Formation of singularities in solutions to ideal hydrodynamics of freely cooling inelastic gases // *Nonlinearity*. 2012. T. 25, c. 1547-1558.

Nilsson B., Rozanova O.S., Shelkovich V.M. Mass, momentum and energy conservation laws in zero-pressure gas dynamics and δ -shocks: II // *Applicable Analysis*. 2011. T. 90, № 5, c. 831-842.

Oleinik O.A., Yosifyan G.A., Shamaev A.S. *Mathematical problems in elasticity and homogenization*. Amsterdam: North-Holland, 1992. 412 p.

Chechkin G., Piatnitski A.L., Shamaev A.S. *Homogenization: methods and applications*. Providence: American Mathematical Society, 2007. 234 p.

Gavrikov A.A., Shamaev A.S. On the Modeling of Creep Layered Structures with Nonlinear Constitutive Relations // *IFAC PapersOnline*, V. 51, № 2, P. 150-155.

Romanov I.V., Shamaev A.S. Exact bounded boundary controllability of vibrations of a two-dimensional membrane // *Doklady Mathematics*. 2016. V. 94, № 2, p. 607-610.

Shamaev A., Romanov I. Noncontrollability to Rest of the Two-dimensional Distributed System Governed by the Integrodifferential Equation // *Journal of Optimization Theory and Appl.* 2016, V. 170, № 3, p. 772-782.

Romanov I.V., Shamaev A.S. Exact Controllability of the Distributed System, Governed by String Equation with Memory // *Journal of Dynamical and Control Systems*. 2013.V. 19, № 4, p. 611-623.

Romanov I.V., Shamaev A.S. On the problem of precise control of the system obeying the delay string equation // *Automation and Remote Control*. 2013.V. 74, № 11, p. 1810-1819.

СОТРУДНИКИ ЛАБОРАТОРИИ

Заведующий лабораторией

доктор физико-математических наук, профессор
Шамаев Алексей Станиславович

Иностраннный директор и сооснователь лаборатории

почетный профессор МГУ, профессор Pennsylvania State University

[Берлянд Леонид Викторович](#)

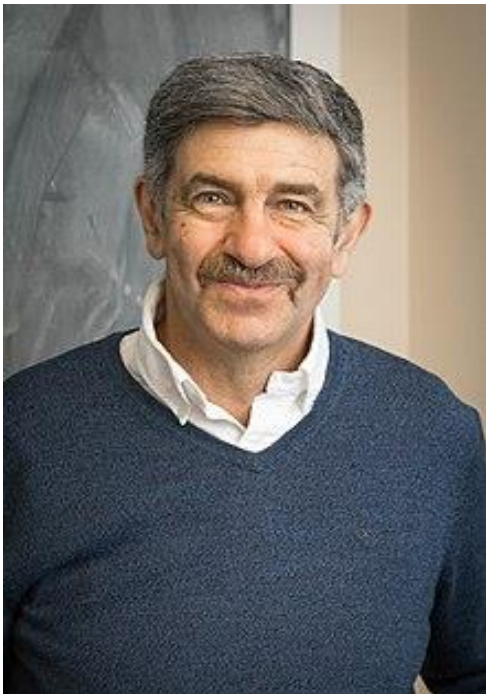
[Center for Mathematics of Living and Mimetic Matter](#) and

Структура лаборатории

- Братусь А.С.-профессор
- Розанова О.С.-профессор
- Гавриков А.А.-старший научный сотрудник
- Князьков Д.Ю.-старший научный сотрудник
- Капустина Т.О. -доцент
- Черник В.В.-научный сотрудник
- Романов М.С.-доцент
- Турцынский М.К.-старший преподаватель
- Дрожжин С.В.-аспирант
- Маркин Д.В.-аспирант

КОНТАКТЫ

Адрес и телефон кафедры дифференциальных уравнений механико-математического факультета МГУ- ГЗ МГУ, 16 этаж, телефон +7 (495) 939 16 31



Профессор Л.В.Берлянд-

иностраный директор и сооснователь лаборатории

<http://www.personal.psu.edu/lvb2/>



Профессор А.С.Шамаев- заведующий лабораторией



Профессор А.С.Братусь



Профессор О.С.Розанова



Доцент Т.О.Капустина



Доцент М.С.Романов



Старший научный сотрудник А.А.Гавриков

В настоящее время- «postdoctoral researcher» в Penn State University



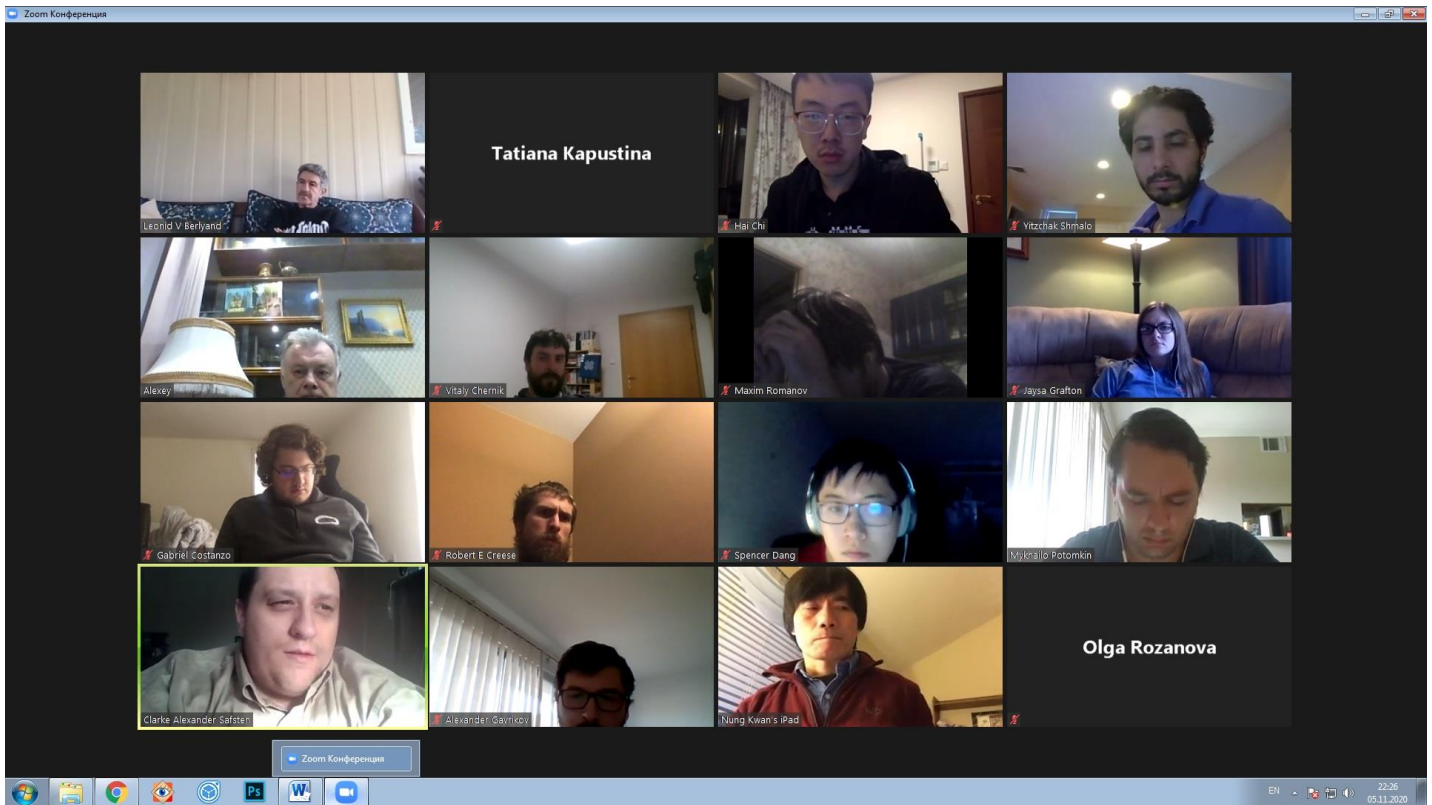
Научный сотрудник В.В.Черник



Старший научный сотрудник Д.Ю.Князьков



Старший преподаватель М.К.Турцинский



Numerical Result: Stable swimming direction

Spherical swimmer: Stable direction depends on the type of swimmer (pusher/puller). [Lintuvuori et al, PRL, 2017]

Figure: Red: trajectory of puller, Green: trajectory of pusher

Elongated swimmer: Critical anchoring strength where the stability changes [Berlyand et al, Comm Physics, Nature, 2020]

- puller ($\beta > 0$) with planar anchoring:
 - when $W < W_{crit}(\beta)$, perp.
 - when $W > W_{crit}(\beta)$, parallel
- pusher ($\beta < 0$) with homeotropic anchoring:
 - when $W < W_{crit}(\beta)$, parallel
 - when $W > W_{crit}(\beta)$, perp.

H. Chi Active Swimmer in Liquid Crystals.

Обсуждение на совместном российско-американском семинаре математической модели движения бактерий в вязкой жидкости со сложной реологией, моделирующей слизистую оболочку. Проблема состоит в создании математической модели, которая бы объяснила ряд наблюдаемых в эксперименте явлений при движении бактерий в вязкой жидкости со сложной реологией- выбор ориентации бактерии при движении, взаимное влияние бактерий друг на друга при движении и пр.

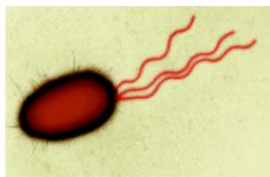
The screenshot shows a Zoom conference window titled "Zoom Конференция". The main content is a presentation slide from a software application named "Yap - [m3asRC2.dvi]". The slide contains three graphs showing traveling wave profiles. The top two graphs are labeled P and E , and the bottom one is labeled P and E . The graphs show two nonrelativistic periods in space, with red and blue graphs representing nonrelativistic and relativistic cases, respectively. The text on the slide reads: "Figure 1. Traveling wave profile for $w = 3$ at $P(0) = 0, E(0) = 1$. Two nonrelativistic periods in space, nonrelativistic and relativistic cases, red and blue graphs, respectively. Right: $P(\xi)$. Left: $E(\xi)$." The participant grid on the right shows several participants, including Tatiana Kapustina, Olga Rozanova, Alexander, Vitaliy Chernik, Alexander Gavrikov, Dmitri Knyazkov, Yuly Almatov, Bukleмишев П..., Мария Делова, Анна Штейн, Anastasia Kirill..., Iskander Ibatullin, and Anastasiya Kirilova. The system tray at the bottom shows the date and time as 19:04 on 12.11.2020.

Во втором ряду- **О.Розанова и А.Братусь**, в третьем ряду-**В.Черник и А.Гавриков** .

С помощью адекватной математической модели движения бактерий можно было бы дать рекомендации по воздействию различными методами на их концентрацию в медицинских целях.



E. coli

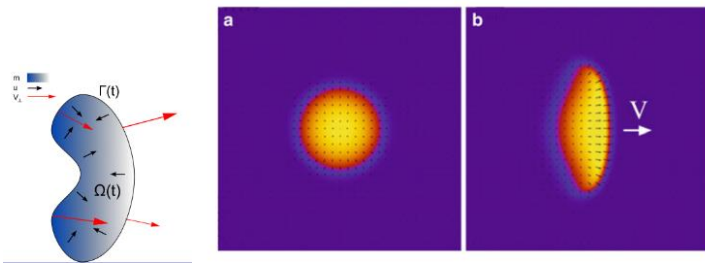


E. coli



Bacillus subtilis

Различные виды бактерий. Видны активные элементы, с помощью которых они осуществляют перемещение в жидкой среде. Создаваемая математическая модель должна учитывать особенности строения бактерий.



Математическое моделирование движения клеток (явление «хемотаксиса»). При возмущении формы клетки или химического состава внутри клетки начинается поступательное движение клетки- как это объяснить? Ведется поиск адекватной математической модели.

Zoom Конференция

mpg_cont_models (1) - Adobe Acrobat Reader DC

Главная Инструменты mpg_cont_models (1) mpg_cont_models (1) ... Войти

The Results of Computational Modeling

Fig. 5: Parameter values:
 $T = 300$; $h = 0.4$; $k(x) = 1$;
 $\varphi(x) = \frac{1}{2\pi} \left(\sin \left(5x + \frac{\pi}{4} \right) + 1 \right)$;
 $d = 0.05$.

Fig. 6: Parameter values:
 $T = 500$; $h = 0.4$; $k(x) = 1$;
 $\varphi(x) = \frac{1}{2\pi} \left(\sin \left(x + \frac{\pi}{4} \right) + 1 \right)$;
 $d = 0.05$.

A. S. Bratus, O. S. Chmeriova Continual Models of Hypercyclic and Autocatalytic Equations for Macromolecules Replication 24 / 30

Экспорт PDF
 Редактировать PDF
 Создать PDF
 Добавить комментарий
 Объединить файлы
 Исправить
 Скопировать PDF
 Заполнить и подписать
 Дополнительные инструменты

Татьяна Капустина
 Дмитрий Чернов
 Александр
 Ольга Розанова
 Юрий Алхутый
 Дмитрий Князков
 Андрей Рязанский
 Марат Хасанов
 Максим Романов
 Дмитрий Князков
 Искандер Ибатуллин
 Мария Делова
 Владлена Шум...
 Елена Жижина
 Анна Штейн

Zoom Конференция

mpg_cont_models (1) - Adobe Acrobat Reader DC

Главная Инструменты mpg_cont_models (1) mpg_cont_models (1) ... Войти

Existence of Spatially Non-homogeneous Solutions

Reduction steady state equation to ODE system

$$\frac{du}{dx} = v$$

$$\frac{dv}{dx} = \frac{1}{d} (\bar{f} - ku)u$$

$$v(0) = v(1) = 0$$

$$H(u, v) = \frac{v^2}{2} + \frac{1}{d} \left(\frac{k}{3} - \frac{\bar{f}}{d} \right)$$

Fig. 8: Parameter values: $d = 0.001$, $k = 1$, $f = 0.8$.

If d is sufficiently small then will enough «time» for 1/2 cycle, 1 cycle, 2 cycles, ..., n cycles.

A. S. Bratus, O. S. Chmeriova Continual Models of Hypercyclic and Autocatalytic Equations for Macromolecules Replication 28 / 30

Экспорт PDF
 Редактировать PDF
 Создать PDF
 Добавить комментарий
 Объединить файлы
 Исправить
 Скопировать PDF
 Заполнить и подписать
 Дополнительные инструменты

Татьяна Капустина
 Дмитрий Чернов
 Александр
 Ольга Розанова
 Юрий Алхутый
 Дмитрий Князков
 Андрей Рязанский
 Марат Хасанов
 Максим Романов
 Дмитрий Князков
 Искандер Ибатуллин
 Мария Делова
 Владлена Шум...
 Елена Жижина
 Анна Штейн


Обсуждение на совместном российско-американском семинаре проблем, связанных с устойчивостью реакции гиперциклической репликации. Данная математическая модель используется для моделирования процессов «добиологической» эволюции.

Zoom Конференция

Запись

2 of 43

Symmetric random walk ○○○○○○○○ The limit process ○○○○○○○○○○○○○○ + drift; + absorption ○○○○ Dynamics of pollution ○○○○ Diffusion in high-contrast periodic media ○○○○○



1911 26.11.2020


Participants: Tatiana Kapustina, Andrey Piatnitski, Alexander Ga..., Elena Zhzhina, Alexey, Виталий Чер..., Dmitri Knyazkov, alexander, Tatiana Bobyleva, Владлена Шум..., Dmitri Knyazkov, Maxim Romanov, Буклемишев П..., Ольга Розанова, Olga Yantsen

Zoom Конференция

Запись

43 of 43

Symmetric random walk ○○○○○○○○ The limit process ○○○○○○○○○○○○○○ + drift; + absorption ○○○○ Dynamics of pollution ○○○○ Diffusion in high-contrast periodic media ○○○○○●



20:02 26.11.2020

Participants: Elena Zhzhina, Tatiana Kapustina, Alexey, Alexander Ga..., Виталий Чер..., Andrey Piatnitski, alexander, Olga Yantsen, Евгений, Dmitri Knyazkov, Tatiana Bobyleva, Владлена Шум..., Dmitri Knyazkov, Maxim Romanov, Буклемишев П..., Ольга Розанова

Обсуждение вопросов, связанных с биологическими технологиями очистки воды. Бактерии в активных пленках внутри фильтра поглощают вредные примеси и вода становится чистой.

