



ФОНД ИНФРАСТРУКТУРНЫХ
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ПРОГРАММ
работаем из дома

SCIENCE BarHopping

Бумага
paperpaper.ru

Что с нами будет? Письма ученых о самом важном

Это письмо о том, как области математики, которые, казалось бы, очень далеки от реального мира, помогают решать практические задачи

Автор этого письма — ведущий нового сезона подкаста Science Bar Hopping: вместе с учеными и экспертами он устраивает мозговой штурм, чтобы решить одну сложную и порой невероятную задачу. Как достичь бессмертия? Можно ли создать этичного робота? И что делать, если среди нас будут жить клоны? Слушайте выпуски в [Apple Podcasts](#), [Google Podcasts](#), [Castbox](#), на «Яндекс.Музыке» и во «ВКонтакте».



Привет! Меня зовут Александр Калюжнюк. Я аспирант, преподаватель и инженер в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. Уже больше 4 лет я работаю в Научно-техническом центре «Газпром нефти», помогая нефтяникам моделировать происходящее на глубинах более двух километров под нашими ногами. В свободное время я занимаюсь популяризацией науки.

Сегодня нефтяные компании активно инвестируют в научные исследования и образование в России. Они также [поддерживают сборную России по математике](#), которая в конце июля завоевала шесть медалей и заняла второе место в командном зачете на Международной математической олимпиаде.

Применение необычных областей математики на практике всегда вызывало у меня восхищение. И мне как популяризатору науки захотелось рассказать вам в этом письме, почему нефтяной отрасли, на первый взгляд далекой от математики, жизненно необходимо поддерживать развитие «языка, на котором написана книга природы» (Галилей).

Письмо длинное (из-за картинок, не пугайтесь!), поэтому в некоторых браузерах или приложениях оно может открыться не полностью. Не забудьте нажать кнопку «Открыть/показать полностью», чтобы дочитать до конца.

Поехали!

Почему математика так удобна

Все мы изучали арифметику в школе. Многие сдаются уже на этом этапе, представляя математиков как людей, одержимых числами и счетом. К сожалению, когда начинаешь работать в большинстве областей, сначала нужно хорошо освоить скучную базу: если вы боксер, поработать с грушей, если хоккеист — научиться кататься на коньках.

Ситуацию усугубляет практически полное отсутствие интересных примеров. Арифметика хотя бы ассоциируется с подсчетом цен покупок в магазине, а геометрия — с измерением площади земельных участков. А вот как нам в жизни помогут квадратные уравнения, интегралы и тем более комплексные числа, мы уже слабо представляем.

На деле результаты математических достижений окружают нас повсеместно. Мы используем логарифмическую шкалу громкости, звуковые файлы и jpeg-картинки связаны с преобразованием Фурье, работа наших компьютеров основана на дискретной математике, а нейросети — на достижениях линейной алгебры.

Дело в том, что математика — очень удобный для большинства ученых язык. Мы не знаем, почему математика так удачно описывает природу многих известных явлений. Однако не первую сотню лет наблюдаем это на практике.

Ученые могут плохо разбираться в математике или не любить ее — как, например, основоположник учения об электромагнитном поле Майкл Фарадей. Однако уравнения Джеймса Максвелла, математически оформившего труды

Фарадея, стали основой теории электромагнетизма, которую изучает любой студент-физик на первом курсе.

Математики — полноценные программисты, занимающиеся разработкой и поддержкой математического языка. Вы могли слышать о том, что программисты любят писать «красивый» код. Так же и математики обладают чувством [красоты своего языка](#).

Однако стремление к красоте и постоянному развитию языка приводит к тому, что многие его «фичи» могут опережать свое время и оставаться невостребованными десятилетиями.

Именно отставание прикладных областей наук от многих ветвей математики и порождает образ математика как непонятого человека, занятого мистическими проблемами, интересными лишь ему и небольшой группе людей.

Сегодня же многие, казалось бы, неприменимые математические концепции находят применение в индустриальных задачах.

Чего нефтяники хотят от ученых

Есть распространенное мнение о том, что добыча нефти — простая задача. Действительно, нужно только найти подходящее «озеро» с нефтью и пробурить в нужном месте вертикальную скважину.

К сожалению, ситуация, в которой можно пробурить колодец и случайно наткнуться на нефть, актуальна скорее для наших ближневосточных коллег. Характерная глубина залегания пластов на современных месторождениях Сибири — 2–3 километра, а толщина пластов, в которых нужно пробурить скважину, — 2–3 метра. Кроме того, нефть содержится в твердой пористой породе и приходится бурить изгибающиеся горизонтальные скважины.

Мои коллеги любят такую аналогию. Вы находитесь на крыше пятиэтажного дома, а на втором этаже стоит стакан с водой, в который вам нужно опустить изогнутую проволоку. И эту задачу сегодня решить проще, чем пробурить горизонтальную скважину.

Математическое моделирование помогает нефтяникам на всех этапах. Это и оценка перспективных зон для разбуривания, и геонавигация в процессе бурения, и управление режимом добычи нефти. В результате нефтяники

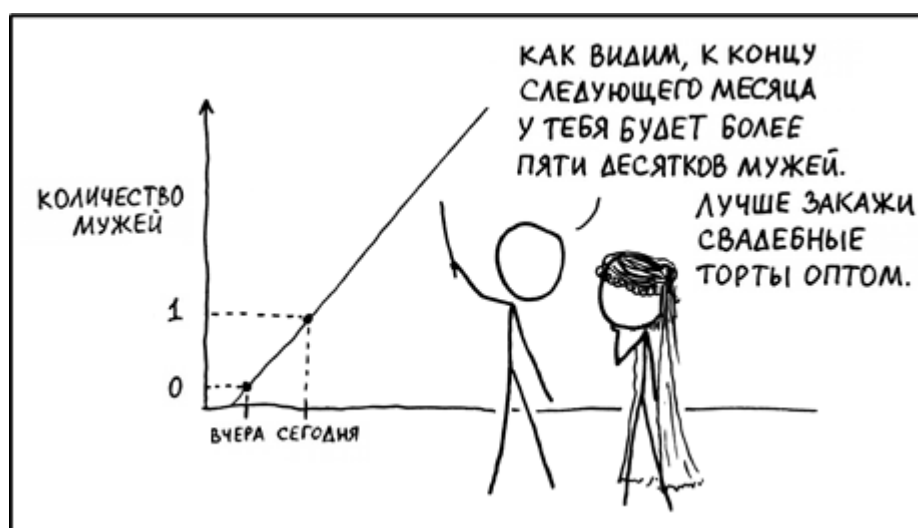
получают самое ценное — информацию о пласте: его пористости и проницаемости. Эти величины сообщают нефтянику, насколько хорошо нефть будет «течь» (фильтроваться) к скважине, и позволят принять решение, где будет эффективнее всего пробурить скважину.

Вот самые распространенные источники этой информации:

- прослушивание породы с помощью микровзрывов — *сейсмические исследования*. Это практически то же самое, что стучать по стене в поисках полости;
- изучение добытых при бурении цилиндрических образцов горной породы — *кернов*;
- «подсвечивание» околоскважинного пространства — *геофизические исследования скважин*. Они производятся с помощью датчиков, спускаемых в скважину во время бурения;
- «прослушивание» скважин — *гидродинамические исследования скважин*. Добычу на скважине резко останавливают или запускают, а мы следим за тем, что произойдет на ней или на соседних скважинах.

При этом нередко нужные параметры невозможно определить напрямую. Поэтому нефтяникам необходимо решать *математически некорректные* — так называемые *обратные* — задачи: нужно попытаться «натянуть» (откалибровать) математические модели добычи нефти на данные, полученные в экспериментах из списка выше.

Для такой калибровки требуется много «хороших» данных со скважин и качественные математические модели, которые будут учитывать происходящие в пласте процессы. Эти модели позволяют нефтяникам «предсказывать», сколько нефти они добудут, если решат бурить или качать нефть определенным способом.

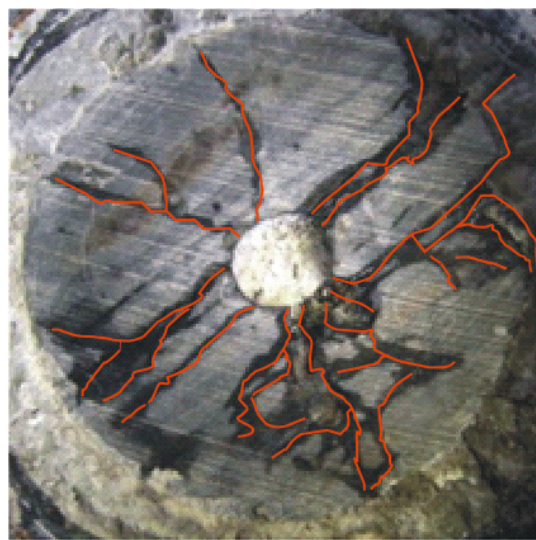


Такая калибровка особенно необходима, когда мы «прослушиваем» скважины. Однако в этом случае нам важно выбрать, какую модель мы будем «натягивать» на данные прослушивания: модель фильтрации нефти по порам, по одной трещине или по двум и так далее.

Проблемы начинаются, когда нефть течет по множеству «негладких» трещин, напоминающих карту московского метро. Данные просто не получается «натянуть» на стандартные модели.



[Карта московского метро](#)
(2018)

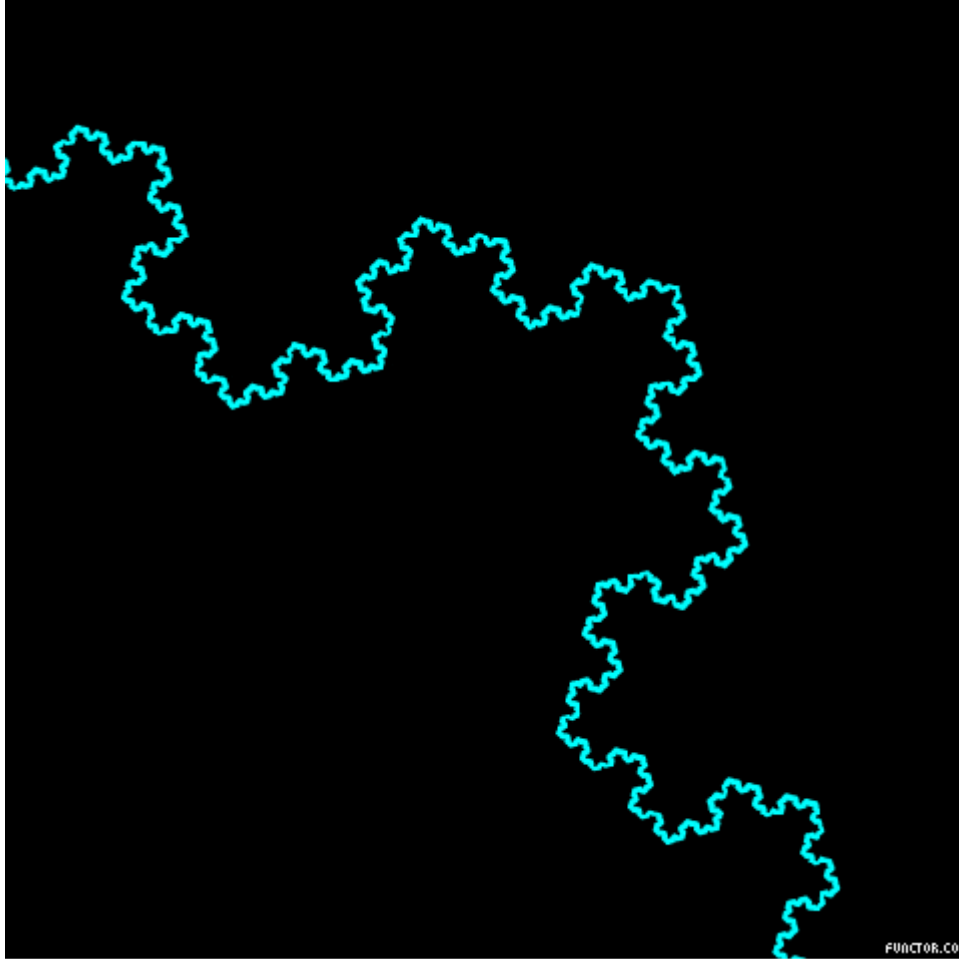


Выделенные красным цветом
[искусственные трещины](#)
[вблизи скважины](#)

Вы замечали, как быстро мы можем передвигаться между станциями метро в центре и как долго — между его линиями на периферии? А если речь идет о молекуле нефти в трещине? От чего зависит скорость? На помощь приходит математика и фракталы.

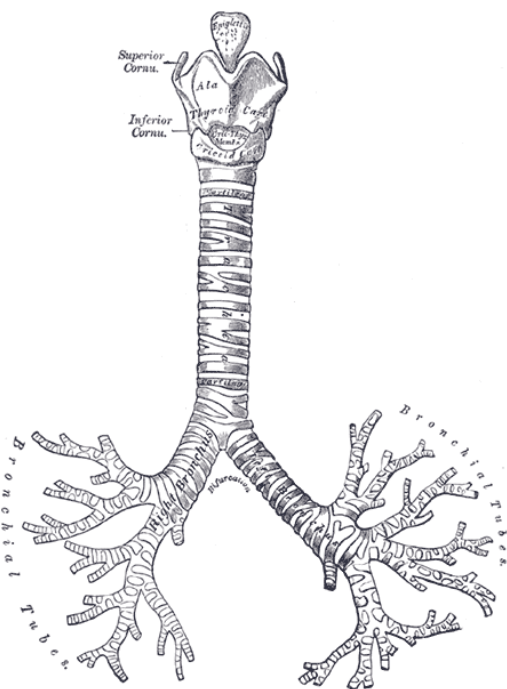
При чем тут фракталы

В школе фракталы определяют как «самоподобные фигуры». Мы можем до бесконечности приближать их, получая исходную. К сожалению, этим примером и парой других и ограничивается тема фракталов в школьной программе.



Фрактал «Кривая Коха» можно бесконечно приближать

Однако фрактальными свойствами в некотором приближении обладает множество живых и неживых природных объектов: кораллы, морские раковины, система кровообращения человека, береговые линии, горные хребты, молнии.



Вид трахеи и бронхов
спереди

[Фигуры Лихтенберга](#) при
скользящем искровом
разряде на поверхности
диэлектрика

Сходство многих природных форм с фракталами позволяет легко создавать их правдоподобные модели.



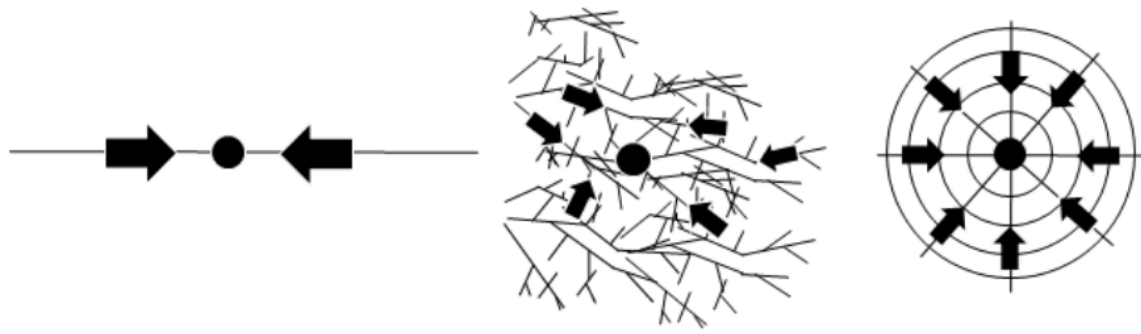
Поверхность планеты, созданная с помощью фракталов для фильма Star Trek 2: The Wrath of Khan (1982)

А что же математики? С их точки зрения фрактал — это фигура с дробной размерностью. Фракталы (лат. *fractus* — сломанный, разбитый) — бесконечно «пушистые», «негладкие» и «изломанные» объекты. Благодаря этому они могут быть уже не 1D-линией, но еще и не 2D-квадратом или кругом. Они могут быть 1,5D, 1,3D, или 1,84254D и так далее — зависит от фрактала.

И как это поможет? Нередко разговоры о четырехмерном пространстве (4D) уже способны сломать наш мозг. Что уж говорить о телах с бесконечномерной (∞ -D) или дробной (1,5D) размерностью. Всё это кажется очень далекой от практики теорией, которую математики придумали исключительно для собственного развлечения.

Однако физика фрактальных тел имеет свои особенности. Тела изгибаются, ломаются и, что главное, пропускают через себя электричество и жидкость по законам, которые работают именно для 1,3D-, 1,5D-, 1,84254D- (и так далее) объектов. Именно это свойство фракталов позволяет

моделировать приток нефти к скважине по хитросплетенным системам трещин.



Приток нефти к скважине по 1D-трещине, по фрактальной трещине и в «полноценном» 2D-пространстве

В своей кандидатской работе я как раз ищу ответы на вопросы о том, как форма метро влияет на скорость вашего передвижения из одной точки в другую и какие параметры трещин влияют на добычу нефти.

Как применить эти ответы на практике? Они позволят с большей точностью определять свойства нефтяных пластов, чтобы эффективнее добывать нефть. А чем эти ответы будут полезны для теории? Они станут новым шагом в развитии фрактального моделирования. И, возможно, пригодятся в других областях (например, в [теории хаоса](#)). Ведь я и сам в своих исследованиях подсматриваю и использую аналогии из электро- и термодинамики.

Что еще стоит посмотреть про фракталы?

- Фильм [«Фракталы — поиски новых размерностей»](#). О том, как Бенуа Мандельброт математически определил фракталы и где они могут пригодиться.
- [Видео](#) чудесного популяризатора науки 3Blue1Brown о том, что такое дробная размерность и почему фракталы ей обладают.
- Дизайнерский эксперимент [«Медузы и жопы»](#) (лучше смотреть с десктопа) для поиска вдохновения в красоте фракталов.

От себя добавлю, что применение необычной теории на практике еще не гарантирует мгновенного прорыва. Научные революции и существенные достижения случаются, когда

многие факторы сходятся в пространстве и времени.
Искусственные нейронные сети изучали еще в 40–60-е годы
прошлого века, однако их бум случился лишь недавно.

Важно получать удовольствие от самого процесса. Чего вам и
желаю на этих выходных!

Александр

Science Bar Hopping — это научный фестиваль, который организуют [Фонд
инфраструктурных и образовательных программ \(Группа РОСНАНО\)](#) и
«[Бумага](#)». Также мы делаем [научную рассылку](#) и YouTube-шоу «[Заходит
ученый в бар](#)».

Вы получили это письмо, потому что подписались на
рассылку проекта [Science Bar Hopping](#). Спасибо!

[Отписаться](#)
