

Памяти Мануэля Бронштейна

С.А. Абрамов

Вычислительный центр РАН

Москва 119991, ГСП-1, ул. Вавилова, 40

sabramov@ccas.ru

6 июня 2005 г. на сорок втором году жизни от сердечного приступа скончался Мануэль Бронштейн, замечательный ученый, внесший выдающийся вклад в компьютерную алгебру и целый ряд других областей математики и информатики.

Умер человек, наделенный истинным талантом, бесконечно увлеченный наукой. Мануэль работал с полной отдачей сил, захлеб, всегда занимаясь сразу несколькими трудными задачами. Всем знавшим его памятно и то, что он был ироничным, чрезвычайно остроумным и жизнерадостным человеком. Вне работы он мог принять участие в разговоре о самых разных вещах, восхищая собеседников внезапными экспромтами, шутками, меткими замечаниями и неожиданными взглядами на многие “мелочи жизни”.

Мануэль родился 28 августа 1963 г. недалеко от Парижа, его отец — врач, мать — скульптор. Окончив школу во Франции, он поступил в университет Беркли (США, Калифорния), там же в 1987 г. защитил диссертацию под руководством проф. М.Розенлихта. В течение трех лет работал в исследовательском центре IBM, затем с 1990 г. по 1997 г. — в швейцарской федеральной высшей технической школе (ETH), а с 1997 г. — во Франции в национальном исследовательском институте информатики и автоматизации (INRIA) в София-Антиполис.

Защищенная в Беркли диссертация была посвящена труднейшей проблеме, связанной с символьным интегрированием (или с “интегрированием в замкнутом виде”). Хотя Р.Ришу, тоже аспиранту М.Розенлихта, удалось развить теорию интегрирования и предложить

в 1968 г. алгоритм интегрирования элементарных функций, выяснилось, тем не менее, что этот алгоритм недостаточно эффективен. Мануэль существенно улучшил этот алгоритм, в частности, за счет того, что ему удалось расширить на смешанный случай алгоритм Б. Трагера, первоначально предназначавшийся только для алгебраических функций. Работая в IBM, он реализовал алгоритм интегрирования в системе Axiom, и это была самая мощная на тот момент программа интегрирования функций. Итоги своих исследований Мануэль представил в большой статье, опубликованной в 1990 г. в "Journal of Symbolic Computation". Впоследствии им была задумана двухтомная монография, посвященная всем аспектам символьного интегрирования. Первый том был написан и выдержал два издания в издательстве Springer в 1997 и 2004 г. Второй том остался незавершенным.

Мануэлю всегда была свойственна сосредоточенность на актуальных трудных задачах. После интегрирования он занялся проблемой нахождения в замкнутом виде решений линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Здесь им, в частности, в 1992 г. был получен довольно общий алгоритм нахождения решений в поле, порожденном коэффициентами уравнения; обычно при построении решений исходят из башни расширений основного поля, базой же является именно возможность нахождения решений в основном поле (содержащем коэффициенты), что говорит об исключительной важности этого результата Мануэля. Многие задачи, связанные с дифференциальными уравнениями, могут быть сходно переформулированы для разностного случая, — это так же хорошо известно, как и то, что эти разностные аналоги обычно оказываются гораздо более трудными. Тем не менее, в 2000 г. алгоритм поиска решений в поле коэффициентов был найден Мануэлем и для разностного случая. Более того, им был найден универсальный общий алгоритм, охватывающий, в частности, дифференциальный, разностный и q -разностный случаи; эта универсальность достигалась благодаря рассмотрению задачи на уровне колец некоммутативных полиномов Ore. Тогда же им была существенно развита теория униномиальных расширений полей, основы которой были заложены в начале 80-х годов М. Карром. Это дало возможность обобщить ряд известных алгоритмов поиска разнообразных решений линейных обыкновенных уравнений с полиномиальными коэффициентами на значительно более сложные ситуации.

Говоря о полиномах Ore, нельзя не сказать о том, что сама идея их

использования в компьютерной алгебре была впервые предложена Мануэлем (в соавторстве с М.Петковшекком) в статье, опубликованной в 1994 г. в “Программировании”. Эта идея важна не только в теоретическом аспекте, она также указала на возможность создания универсальных компьютерных программ, настраиваемых на дифференциальный, разностный и другие случаи. В настоящее время разработчики алгоритмов и систем компьютерной алгебры активнейшим образом используют этот подход.

Посвященная этому универсальному подходу статья — не единственная публикация Мануэля в “Программировании”. В 1992 году в журнале был опубликован его обзор методов, которыми располагала в то время компьютерная алгебра для решения обыкновенных дифференциальных уравнений и интегрирования. Обзор помог разобраться в этой сложной проблематике многим специалистам, работающим в смежных областях науки. В 1993 г. Мануэль был одним из ответственных редакторов специального выпуска “Программирования”, посвященного компьютерной алгебре.

Не ставя себе цели дать здесь сколь-либо полный обзор работ Мануэля, добавим лишь к сказанному, что в них много впечатляющих и важных результатов не только по интегрированию и по обыкновенным дифференциальным и разностным уравнениям, но и по специальным функциям, уравнениям в частных производных, факторизации операторов, вопросам сводимости систем уравнений к специальным видам. Можно назвать и многое другое — например, работы по линейной алгебре, алгебраической геометрии и т.д.

Мануэль был и превосходным программистом. Все его алгоритмы были им мастерски реализованы в ряде систем компьютерной алгебры. В последние годы он, среди прочего, активно занимался системой Aldor и был автором семейства компьютерно-алгебраических библиотек в этой системе: библиотеки libaldor и Algebra предоставляют пользователям базовые структуры данных и процедуры для работы с ними, необходимые для приложений компьютерной алгебры, Sum^{it} — эффективные программы, реализующие сложные современные алгоритмы преобразований и решения линейных обыкновенных дифференциальных и разностных уравнений. Для библиотеки Sum^{it}, им также разработаны два интерактивных интерфейса bernina и shasta, открывающие доступ к функциональности этой библиотеки из других систем компьютерной алгебры. Эти библио-

теки и интерактивные интерфейсы являются высококачественными инструментами, которые теперь используются во многих научных центрах.

Как уже говорилось, с 1997 г. Мануэль работал в INRIA. В этом своем последнем институте он возглавлял исследовательскую группу, где были собраны первоклассные специалисты, и каждый из них занимался своей собственной научной проблемой; очевидцам его дискуссий с сотрудниками оставалось только изумляться тому, как глубоко Мануэль вникал во все эти проблемы, как свободно он переходил в обсуждениях от одной проблемы к другой — проявлявшаяся здесь его способность к “полифоническому” мышлению была удивительной.

Мануэль был членом редакционных коллегий журналов и литературных серий, — можно назвать, например, “Journal of Symbolic Computation” и серию “Algorithms and Computation in Mathematics”, входил в программные и организационные комитеты представительных конференций и нередко бывал председателем этих комитетов — особенно это касается такой серьезной и значительной ежегодной международной конференции как ISSAC. Он был также вице-председателем международной группы SIGSAM по символьным и алгебраическим вычислениям, и в этой роли им было предложено и реализовано много полезного. Например, перед конференцией ISSAC'05, которая состоялась в июле 2005 г. и участвовать в которой Мануэлю уже не было суждено, им был подготовлен компакт-диск, содержащий не только тексты всех докладов конференции, но и новое программное обеспечение, а также разнообразную информацию, ценную для занимающихся компьютерной алгеброй и ее приложениями. Этот диск был распространен между всеми участниками конференции, для них он остался знаком памяти о Мануэле.

Весьма плодотворным было его участие в международных исследовательских проектах. Так, например, в 90-е годы он был одним из лидеров европейских проектов Cathode 1 и Cathode 2, посвященных компьютерно-алгебраическим методам решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Последние десять лет Мануэль был соруководителем проектов с участием российских исследователей: “Компьютерная алгебра и линейные функциональные уравнения” (РФФИ-ИНТАС), “Прямые методы компьютерной алгебры точного решения систем линейных функциональных уравнений” (франко-российский центр им. А.М.Ляпунова), “Компьютерная алгебра и $(q-)$ гипергеометрические термы” (программа Eco-Net министерства иностранных дел Франции). И последней его по-

ездкой за пределы Франции была поездка по программе Eсо-Net в Россию 15-19 мая 2005 г.

У Мануэля вообще, надо сказать, всегда был особый интерес к России и российским событиям. Будет уместно упомянуть, что семья его отца имела российские корни, сам Мануэль по своему выбору изучал в школе русский язык в качестве иностранного (он рассказывал, что на заключительном экзамене ему достался отрывок из “Подпоручика Киже” Ю.Н.Тынянова). Впоследствии он читал научные журналы на русском и даже делал переводы некоторых статей. А когда в 1990 г. в Лейпциге они встретились с его будущей женой Каролой, русский язык, который не был родным ни ему, ни ей, помогал им объясняться.

Вспоминая о совместной работе с Мануэлем, хочется сказать о его способности моментально схватывать математические идеи и о его необычайной сообразительности — следствии острого аналитического ума. Если ему был интересен какой-либо вопрос, возникший в ходе дискуссии у доски, или кто-то говорил, что есть такая-то задача, которой стоило бы позаниматься, то обычно Мануэль тут же предлагал несколько подходов, среди которых бывали и весьма неординарные и обещавшие быть продуктивными. Очертив бегло эти подходы, он сразу же начинал развивать их в подробностях, проводя на доске выкладки, за которыми, иной раз, трудно было уследить, настолько быстро это делалось. В итоге такой импровизации либо получался полный ответ на вопрос, либо обнаруживались те реальные препятствия, над преодолением которых надо было в дальнейшем работать. И подобные разборы задач нередко делались Мануэлем без малейшего намерения стать соавтором работы. По своей щедрости он охотно и подробно отвечал на вопросы даже людей ему малознакомых, обратившихся к нему за консультацией или советом в перерыве какой-нибудь конференции.

Научные интересы Мануэля не исчерпывались, конечно, лишь очень трудными классическими задачами. Известно, что для ряда таких задач компьютерная алгебра уже располагает полными алгоритмами их решения, но обычно такие алгоритмы имеют очень высокую вычислительную сложность и трудны для реализации. Мануэль не терял интереса к рассмотрению частных случаев этих задач, к эвристикам и другим путям ускорения и упрощения алгоритмов. Одним из результатов его усилий в этом направлении явился новый вариант алгоритма параллельного интегрирования (наиболее ранние варианты алгоритма парал-

лельного интегрирования предлагались в конце 70-х - начале 80-х годов А.Норманом, П.Муром и Дж.Дэвенпортом; слово “параллельное” здесь не связано с многопроцессорным выполнением, и как возможную замену этому названию Мануэль рассматривал “плоское интегрирование”). Этот алгоритм, вообще говоря, не является столь мощным, как алгоритм символьного интегрирования Риша-Бронштейна в полном его варианте, но реализуется всего сотней строк программного кода. В этом выпуске “Программирования” публикуется заметка об алгоритме параллельного интегрирования, которая является расширенной аннотацией доклада Мануэля на совместном заседании семинаров по компьютерной алгебре МГУ и Объединенного института ядерных исследований (Дубна) 18 мая 2005 г. Эта расширенная аннотация была прислана им для публикации в “Программировании” 3 июня, за три дня до смерти, застигшей его вне дома, в Монпелье, куда он отправился на несколько дней для обсуждения с биологами возможности описания некоторых биологических моделей рекуррентными соотношениями специального вида. Для решения этих соотношений Мануэль собирался применить оригинальный подход, над которым работал в самое последнее время. Запас его идей и замыслов был поистине необозримым...

Заботы о большой семье (он был отцом шестерых детей) совмещались в нем с готовностью оказывать поддержку или помощь друзьям, знакомым, коллегам всякий раз, когда он чувствовал, что кто-то из них нуждается в помощи или участии. Дружеское отношение к людям, его окружавшим, никогда его не оставляло.

Исключительная одаренность Мануэля в нем сочеталась с не менее исключительной отзывчивостью и добротой. Его имя и блестящие достижения в компьютерной алгебре уже заняли свое место в науке. Но его смерть — огромная, ничем не восполнимая потеря для всех, кто имел счастье работать с ним и просто знать его.