



Развивать геометрическую теорию управления

Наука и образование в России переживают нелёгкие времена. Все понимают, что нужны перемены, но образ этих перемен смутен. Пути ищутся не без труда. Одна из важнейших задач — вывести отечественные научные проекты на международный уровень, интегрировать российские исследования в мировую науку.

В 2010 году Правительство РФ запустило масштабную программу по привлечению ведущих учёных в российские вузы для создания в них лабораторий мирового уровня. На Третий открытый конкурс мегагрантов 2013 года подали заявки 720 учёных, почти половина из которых иностранные граждане. В итоге конкурсный совет постановил признать победителями 42 ведущих учёных из числа тех, кто набрал наивысшие баллы по своим областям наук. Среди 42 победителей конкурса — д.ф.-м.н. А.А. Аграчев, профессор Международной школы высших исследований (SISSA) в Триесте, Италия. «НБС» обратилась к Андрею Александровичу с просьбой рассказать об этой работе и о предыстории сотрудничества SISSA и Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН.

— Истории долгой совместной работы, написания статей как раз не было. Но, разумеется, поскольку занимаемся близкими проблемами, мы с коллегами из Института математики не раз встречались на конференциях, обсуждали различные вопросы. Тему проекта, под который получен мегагрант, выбрали именно новосибирцы и позвонили мне, — рассказывает Андрей Александрович. — Дело в том, что в ИМ работают две сильные группы: анализа, возглавляемая академиком Ю.Г. Решетняком и д.ф.-м.н. С.К. Водопьяновым, и геометрии, под руководством академика И.А. Тайманова. Приняв решение участвовать в конкурсе мегагрантов, стали искать тему, которая бы делала возможным участие представителей обеих групп. Так получился наш проект, междисциплинарный по характеру выбранных средств и приложений.

— В чём новизна этого проекта?
— Он называется «Геометрическая теория управления и анализ на геометрических структурах». Геометрическая теория управления — это то, что никогда не развивалось в Новосибирске — мы начинаем совершенно новую тему. Насколько я понимаю, местным коллегам хотелось дать свежие задачи своим сотрудникам, поэтому мы заявили как главную цель создание новой группы, которая называется «Геометрическая теория управления».

— Каким образом формировалась группа?
— С.К. Водопьянов и И.А. Тайманов на своих курсах в НГУ агитировали за этот проект, подбирая студентов на специализацию. Весной 2013 года начали проводить индивидуальные собеседования. Идея состояла в том, чтобы для группы хорошо мотивированных студентов создать условия для работы. Мы можем приглашать лекторов, читать курсы. Часть денег пойдёт на организацию таких курсов. Очень помог формированию группы тот факт, что здесь, в Новосибирске, институты и университет существуют в единстве, что редкость для России.

Мы начали совместные работы ещё до получения мегагранта. Пока что мы создали временный трудовой коллектив, но проект будет удачным, если нам удастся собрать к его окончанию или сразу после него новую лабораторию, потому что создание новой структуры — это ключевая составляющая мегагранта. Создать её желательно до конца 2015 года. Нам сразу выделили в институте большую комнату, которую мы обставили, так что у будущей лаборатории есть своё место.

— Какова будет численность такой структуры?
— Это математика — нам не нужно много людей и много материалов. Нам нужны способные люди, прежде всего 3—4 человека, которые составят ядро. Но сначала нам нужно их «воспитать».

— Вернёмся к теме мегагранта. Что такое геометрическая теория управления?

— С конца XIX века известна инженерная теория автоматического управления. На ней основаны любые приборы, работающие автоматически, начиная с парового двигателя, который сам себя регулирует. Инженерная теория управления учит, как устроить механизмы и двигатели так, чтобы они работали, саморегулировались и были устойчивы.

Математическая теория управления началась в России, с Льва Семёновича Понтрягина. Мой учитель, Р.В. Гамкрелидзе — один из старших учеников Понтрягина. В середине 50-х годов Понтрягин занимался высокой, чистой математикой и был знаменит во всём мире, в России — один из столпов XX века. В 50-е годы он решил (по разным причинам) заняться прикладными вопросами. Толчком послужила смерть его близкого друга, физика, механика и математика

из Нижнего Новгорода А.А. Андропова, с которым они вели работу по динамическим системам. После его смерти Л.С. Понтрягин понял, что для решения прикладных задач ему мало одной математики, и основал в Институте математики им. В.А. Стеклова семинар, на который приглашали инженеров. После мучительного периода, в течение которого математики, топологи пытались постичь инженерную премудрость и описать её математическим языком, Л.С. Понтрягин сформулировал задачу и назвал её системой управления.

— И как же она работает?

— Например, движется некая машина или работает какой-то реактор с заданными параметрами. Параметры связаны друг с другом, и когда мы запускаем реактор, мы можем предсказать, как параметры будут меняться, если никто не пытается вездёрнуться в механизм и поменять их. Вот это называется детерминированной динамической системой, если мы высчитываем все параметры, от которых зависит близкое будущее процесса, и не меняем их в ходе процесса. Управляемая система — это семейство динамических систем, которое зависит от параметров, которые можно менять в каждый заданный момент времени.

Довольно быстро они получили замечательные результаты, чисто математические, которые называются «принципом максимума Понтрягина» (ПМП). Он был использован в СССР в космической программе, а также в программе «Аполлон» в США. Понтрягин и его сотрудники были приглашены туда в начале 60-х годов. В одном из научных учреждений они видели объявление, что требуются специалисты по ПМП, настолько метод был популярен. Однако всех задач метод не решал, лишь некоторый класс проблем. И прежде всего невероятно эффективно решались линейные проблемы.

Но были узкие места. Обычно принцип максимума эффективен, когда речь идёт о режимах крайних, экстремальных. Представьте, что мы сначала несёмся в машине на бешеной скорости, а потом тормозим. ПМП вам сразу указывает, когда надо менять параметры. Но возьмём одну из первых инженерных задач, имеющих дело с колебаниями — остановку маятника. Мы хотим остановить его как можно быстрее. При этом у нас ограниченная сила. Как действовать? Первый ответ для такого класса задач — надо использовать максимальную силу, которая у нас есть. Но если вы занимаетесь космическими техниками, вы поймёте, что аппарат не может всё время лететь на максимальной силе. Большую часть времени он просто движется по инерции. Это был первый звонок, что нужны новые методы вдобавок к принципу максимума.

— А где же здесь геометрия?

— К счастью, ПМП позволял переформулировать задачу так, чтобы использовать геометрию. Представьте, что у нас есть семейство динамических систем. И представьте динамическую систему как поток жидкости, например. Поток в резервуаре, каждая точка которого описывается координатами — это и есть состояние нашей системы. Динамическая система — это не движение одной частицы, но закон, по которому движутся все частицы.

Теперь представим управляемую систему. Допустим, у нас есть несколько динамических систем, и мы запускаем сначала одну, потом другую с помощью рубильника. Одно положение рубильника — один закон движения, другое — другой закон движения, другая динамика. Всё, что мы можем делать — это время от времени переключать рубильник. При этом параметров может быть большое количество, а наши возможности не очень велики. Но стратегия переключения рубильника всецело в нашей власти. Ситуация, когда мы ничего не можем сделать — это когда мы переключаем рубильник, а наши динамические системы коммутируют. Это значит, что если мы какое-то время (t) движемся по одной системе, потом переключаем рубильник, и ещё какое-то время (s), движемся по другой, результат будет таков, как если бы мы сначала двинулись в течение времени s по второй системе, а потом в течение времени t по первой. Тогда получается, что неважно, в какой последовательности их включать. Тогда наш результат будет зависеть только от того, сколько времени в целом мы двинулись по одной системе и сколько в целом — по другой, т.е. мы можем настроить максимум два параметра. Это очень мало.

Если же результат зависит от порядка включения систем, а это почти всегда так, то каждое новое переключение открывает дополнительные возможности, и в целом они огромны. Всё определяется коммутационными свойствами систем. Это то, что объединяет нас с С.К. Водопьяновым и его группой — исследование задач, где с помощью малого числа параметров, в данном случае одного рубильника, мы можем достичь очень многого. Это сама суть геометрической теории управления.

— И это даёт какие-то особенные практические приложения?

— Понтрягинская теория управления плюс использование коммутационных свойств динамических систем даёт оптимальное управление. Геометрическая теория управления набрала уже некоторый опыт и может применяться в том числе и к чистой математике. Но не только к ней, потому что применительно к механизмам даже с одним рубильником возможности колоссальны. Как нолями и единицами можно описать всё что угодно, так и здесь возможности огромны.

Потому что выбирая времена и порядок включения, мы, будучи ограничены в возможностях, можем, например, попасть в любую нужную нам точку в пространстве. Эта теория применялась прежде всего в работе мобильных роботов, но, возможно, в приложении к таким механическим задачам она себя исчерпала, поскольку её идея заключалась в том, чтобы с малыми возможностями добиться очень многого. Сейчас в робототехнике это не так важно. Проще поставить ещё один движок, чем применять изощрённое управление.

Самые интересные подходы, конечно, применялись в первую очередь в космической технике, потому что там ресурс ограничен, всё работает на пределе. А сейчас активно используется в ядерном магнитном резонансе — для управления несколькими лазерами одновременно.

— И этим всем будет заниматься новосозданная лаборатория?

— Мы не прикладники и в проекте не вписали обязательства решать прикладные задачи. Однако когда мы начинали работать с коллегами в Институте математики, я рассматривал это как короткий и эффективный путь связать хорошую математику с прикладными задачами. Правда, мой опыт сотрудничества с инженерами больше получен во Франции, где с ними можно разговаривать на одном языке (имеется в виду понятийный аппарат) и где государство поощряется внедрение результатов.

Тем не менее, наша новая лаборатория, едва только начав работу, уже сотрудничала с «Эколь политекник» в Париже, с лабораторией в Марселе, где работает мой соавтор и друг Жан-Поль Готье.

— У НГУ с «Эколь политекник» подписано соглашение о сотрудничестве.

— Это хорошо. У меня как раз в ЭП есть группа моих бывших учеников, в лаборатории прикладной математики. И они сюда тоже с удовольствием приедут. Мы будем, конечно, приглашать в первую очередь русскоязычных коллег, потому что первое время могут возникнуть языковые сложности. Сейчас с работой для математиков в Европе и США дела обстоят плохо, но это сыграет нам на руку. Если человек амбициозный, а ему дают возможность самостоятельно строить будущее, интегрированное в мировой научный процесс, то, думаю, многих это заинтересует. Я сам очень долго, все 90-е годы не имел постоянного места, зарабатывая за границей, работал и в Марселе. Отечественных грантов не было вообще никаких. Зарплата... Сто долларов в месяц после многих лет работы...

— Андрей Александрович, можно подробнее о вашей трудовой биографии?

— Я постоянно ездил на заработки в 90-е. Это ставило под угрозу семью — я ведь подолгу отсутствовал дома. Кроме того, сыну надо было давать образование. В конце 1999 года мне поступало много предложений работы, и в Италии сразу предложили место. С 2000 г. я полный профессор, у меня появились ученики. Сейчас я читаю лекции по-английски, потому что у нас международная школа. Со студентами-итальянцами говорю по-итальянски.

Я также работаю во Франции. Когда-то, в 90-е я читал лекции как «визитёр» в Дижоне. По правилам положено вести занятия по-французски, но мне разрешили говорить на английском. Я начал курс и понял, что студенты меня не понимают. Я решил, что мне надо перейти на французский. Жена отговаривала: ты не можешь разговор о погоде поддерживать, как ты будешь восемь часов в неделю вести, изумлялась она. Но я же мужчина всё-таки, я взялся, значит, надо довести до ума. Я на календаре отмечал дни, оставшиеся до окончания курса. Никогда я так не готовился к занятиям. Коллеги-профессора сказали потом, что хорошо читал. Но сейчас во Франции я разговариваю по-английски.

Основное место моей работы сейчас — Высшая школа научных исследований в Триесте (SISSA). Это научный центр и PhD школа. Увы, ни один мой итальянский ученик не нашёл работы в Италии, почти все перебрались во Францию. Во Франции, несмотря на экономические трудности, университеты пока не трогают. В Италии их «трогают» в первую очередь. Если преподаватель уходит на пенсию, ставка блокируется, и никого нельзя взять на его место. А чтобы взять на работу одного, пятерых надо уволить. Мой сектор, где я работаю, уменьшился наполовину за несколько лет. В результате у активных профессоров столько аспирантов, что мы едва справляемся, так что я никак не заинтересован брать аспирантов из России в Италию. Утечки мозгов можно не опасаться. Я сказал студентам, что то, что мы сейчас выстраиваем — это будет в дальнейшем пусть небольшая, но встроенная в мировую систему российская группа. Это я обещаю: они будут ездить для своих научных целей, куда понадобится. И теперь всё зависит от того, какие студенты к нам пойдут. А мы сделаем всё возможное, чтобы взять от них по максимуму. Сделать это надо за два года.

— Действительно, грандиозные планы...

— И я хотел бы назвать нашу лабораторию именем Понтрягина. Но только когда мы будем его имени достойны. В идеале группа должна стать постоянной через два с половиной года. Бывает и продолжение финансирования работ по мегагрантам. Будем работать и надеяться на лучшее.

О. Савельева, «НБС». Фото В. Новикова