

А. М. Молчанов

## Лимитирующие факторы (по И. А. Полетаеву) и принцип Ле-Шателье

### Введение. Естествознание и математика

Стихийный отбор в науке существовал задолго до дарвиновского открытия его творческой роли в природе. Математика столетиями отбирала, концентрировала и сохраняла сокровища естествознания. Поэтому она глубоко эволюционна, а революции, сотрясающие частные ветви естествознания, приносят в нее результаты уже в синтезированной, гармоничной форме.

Так, например, квантовая механика, существенно изменив физику, привнесла в математику идею эквивалентности матричной и волновой механики. А это было известно (в иной, разумеется, форме) еще со времен Фурье.

Самый драматический эпизод этих событий — появление работы Шредингера «Об отношении Гейзенберг-Борн-Йордановской квантовой механики к моей». Шредингер дважды сделал то, что они единожды сделали втрoem: и квантовую механику построил, и эквивалентность доказал. Не последняя причина в том, что Шредингер нужную математику знал, а не изобретал матрицы на ходу.

Аксиоматика, понятийный аппарат, алгоритмы — это наиболее четкое выражение значения математики в Науке.

Однако ее весьма эффективная роль казначея науки имеет неприятную оборотную сторону. Высокая степень концентрации знаний — необходимая для хранения — делает их трудно доступными.

Существенно меняет ситуацию появление компьютеров, особенно персональных. Возникает реальная возможность быстрого «разворачивания» концентрированных знаний.

Ситуация напоминает эру Коперника, когда необозримые таблицы наблюдений Тихо Браге были свернуты Кеплером в немногие формулы, допускающие быстрое восстановление данных. Это привело почти неминуемо и к причинному объяснению небесной механики — закону всемирного тяготения. Современное математическое моделирование является формализованным завершением идей Кеплера, но (пока) не приводит к ньютоновскому апофеозу. Его, правда, тоже пришлось ждать более полувека...

## Лимитирующий фактор Либиха — Полетаева

Эволюция понятийного аппарата математики — самого, возможно, ценного сокровища Науки — происходит еще медленнее. Научное понятие проходит обычно три стадии — сначала это слово, затем термин конкретной науки (чаще нескольких) и только потом собственно понятие.

Так, например, идеей лимитирующего фактора почти два века назад владел адмирал Ушаков, который утверждал, что скорость эскадры определяется скоростью самого медленного судна, а широта кругозора — уровнем глаз смотрящего.

Сам термин «лимитирующий фактор» возник в известных работах Либиха. Он же ввел во всеобщее употребление и удобрения, относительно которых мы сейчас в глубоком недоумении — а добро ли это?

Но это был все еще термин, все еще не понятие.

Одна из причин состоит в том, что идея «лимитирующего фактора» Либиха относилась к «запасам», и понадобились работы Полетаева, чтобы распространить эту идею на «потоки». Иными словами, Игорь Андреевич «уравнял в правах» потоки и запасы подобно тому, как Гамильтон объединил импульсы и координаты в единое фазовое пространство.

Только после этого решающего шага стало возможным говорить о понятии лимитирующего фактора.

## Принцип Ле-Шателье

Принцип Ле-Шателье на современном языке есть высказывание об инерционности равновесия, то есть о параметрической (структурной) устойчивости. Иными словами, он «дополнителен» к теории устойчивости Ляпунова, относящейся к возмущениям самих фазовых переменных.

Любопытно, что ответ на более сложный вопрос был угадан до постановки более простого вопроса. Это тем более интересно, что приемлемой общей формулировки принципа Ле-Шателье нет и доныне, несмотря на существенные успехи теории бифуркаций, фазовых переходов, структурной устойчивости. Это не мешает, конечно, использовать его как эвристический принцип, подсказывающий ответ (на качественном уровне) в каждом конкретном случае.

Принцип Ле-Шателье — это принцип локальный, градиентный. Он дает направление возможных изменений состояния и не содержит никаких указаний на границы применимости. Тем не менее, он подсказывает догадку, что равновесие будет «держаться до последнего», после чего произойдет переход в новое равновесие, обладающее подобными же свойствами.

Но это означает, что переходный процесс будет кратким во времени и узким в фазовом пространстве. Эта догадка подтверждается в медицине (принцип «все или ничего»), в газодинамике (ударная волна) и в нелинейных колебаниях (разрывная трактовка).

Независимо от этих соображений Игорь Андреевич Полетаев ввел принцип «смены лимитирующего фактора» в моделях биологических систем.

Тем интереснее сопоставление этих подходов. Главное сходство в том, что «вся нелинейность» «сидит» на границе раздела, а поведение в большей

части фазового пространства описывается линейными уравнениями. С точки зрения принципа Ле-Шателье это вполне понятно, ибо вне зоны переключения система находится почти в равновесии и для учета малых отклонений вполне достаточно линейных уравнений.

Различия, и весьма существенные, возникают при изучении многокомпонентных систем. Переходные процессы в таких системах бывают весьма сложными. Соответствующие им (эргодичность!) зоны переключения нередко оказываются фрактальными множествами. Поэтому изучение пространственной структуры (уравнения в частных производных) таких систем значительно труднее скалярного случая.

Тем важнее главная идея Игоря Андреевича Полетаева об определяющей роли границ и зон переключения.

Следует отметить, что в фитоценозах подобные явления изучал Станислав Михайлович Разумовский. Правда, мы тогда не знали, что для научности нужно толковать о фракталах, странных аттракторах, энтропии по Колмогорову, показателях Ляпунова, порядке Шарковского, константе Гроссмана — Томе — Фейгенбаума и теореме Шильникова.

Станислав Михайлович попросту подсчитывал доли беломошника в зеленомошнике и наоборот...

## Управление

И. А. Полетаев написал книгу «Сигнал». Это была одна из первых и одна из лучших книг по кибернетике. Уже название показывает ясное понимание автором границ применимости новой тогда и модной теории. Это понимание выгодно отличает книгу от моря (а точнее, болота) других публикаций на эту тему.

Важное место в дальнейших работах И. А. Полетаева занимает критический анализ терминов «информация» и «управление». «Развитие... кибернетики...», как ни странно, мало прибавило к четкости и строгости определения... информации. Более того, в ряде работ... этот термин применяется столь произвольно, что его употребление... вызывает недоразумения». В другом месте Игорь Андреевич пишет о необходимости различать «энтропию источника информации и физическую энтропию системы».

Конструктивный подход самого Полетаева начинается с уточнения основных понятий. Он вводит термины «компетентность» системы, «ценность информации» и напоминает «принцип усилителя в биологии» (Н. В. Тимофеев-Ресовский). Суть этих уточнений в необходимости совместного рассмотрения управления и управляемой системы. Отрыв управления от системы, забвение ее конкретных особенностей и свойств делает все построение бессодержательным.

Эти важные идеи не получили в дальнейшем, насколько мне известно, полноценного развития. Между тем такой подход намечал серьезное взаимодействие с задачами оптимального управления в вариационном исчислении. Более того, вариационный подход связывал бы экономические, биологические и кибернетические задачи в единую алгоритмическую схему, но со своими специфическими особенностями. Общий в этих разнородных за-

дачах является, с точки зрения математики, наличие малого параметра, позволяющего разделить (асимптотически!) переменные на управляющие и управляемые.

Угадывается также связь смены лимитирующего фактора с бифуркационными явлениями в нелинейной теории колебаний. Все это, однако, не реализовано.

Вспоминается старая шутка: «Раньше нам говорили, что кибернетика — реакционная лже-наука. А сейчас мы твердо знаем, что все наоборот — не реакционная, не лже и не наука».

Я не знаю, кто автор этой шутки, но Игорь Андреевич вполне мог быть им...

### Семантическая гигиена

Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский научность теории связывал не с количественными данными, а с точностью определения ее основных понятий. Игорь Андреевич Полетаев говорил о семантической гигиене. Вполне ясна идеальная близость этих точек зрения. Похоже, что у них общий источник, тем более, что Николай Владимирович ссылался на Нильса Бора...

К сожалению, дисциплина мысли — явление в науке весьма редкое. В обыденной жизни про свалившийся с горы камень не говорят, что он «распознал» лужу, в которой застрял. И никто не скажет, что перрон «считывает» пассажиров, выходящих из поезда. Тем более неопрятна «ковбойскость», с которой в науке говорят о генетическом «тексте» или об «изнавании» ферментом активного центра. Каждый легко вспомнит близкие ему примеры.

Между тем подобные квази-образы не только засоряют речь, но и плодят якобы-работы и псевдо-теории. Поэтому у Полетаева, знатного этого опасность не из вторых рук, было достаточно поводов для высказываний о необходимости и полезности семантической гигиены. И надо отдать ему должное: он отнюдь не пренебрегал этой своей общественной обязанностью.

### Личность

До сих пор речь шла о науке, и я стремился к максимальной объективности. В рассказе о личности субъективность, как одна из многих точек зрения, и неизбежна и полезна.

Игорь Андреевич был человеком резким.

Думают, что это следствие его судьбы и научной, и человеческой. Я убежден в противном. Нельзя придумать переключение доминанты (она же лимитирующий фактор), если сам устроен иначе. В резкой форме: не Полетаев придумал Л-системы, а Л-системы нашли Полетаева.

Далее. Игорь Андреевич в науке серьезно опережал свое время. Результат — дефицит признания и научное одиночество. Другой результат — математик Полетаев с вызовом и упорством называет себя инженером. Третий

результат — гармоническая личность (и инженер, и математик, и еще многое другое) внешне выглядит экстремистом и максималистом.

Пример. Раздраженный суетней околонаучных джентльменов обоего пола, Полетаев говорит (и печатает!) нечто вроде: «Ох, Блок! Ах, Бах! Дело свое надо знать, а не охать». На Полетаева обрушивается поток демагогии. «И в космосе нужна ветка сирени» — это Илья Эренбург, очень желавший «изничтожить» Полетаева по многим причинам.

И возникла «дискуссия» физики — лирики, в которой «физики» объясняли оппонентам, что они плохие лирики, а «лирики» старательно делали вид, что «физики» посягают на культуру...

Два слова об инженере Полетаеве.

Идут полевые испытания первого мобильного (на грузовике) радара. «Это что? — Сарай, наверное.— Так, а это? — Колокольня! — Правильно».

И вот появляется объект, который исчезает с экрана, затем появляется, но движется уже в противоположную сторону, становясь все ярче. Потом начинает тускнеть, снова исчезает и снова меняет направление. НЛО, да и только.

Военный инженер Полетаев командует: «Прямо, вперед!» И вскоре уже невооруженным глазом видна... стая грачей. Они летают по кругу, исчезая на экране радара, когда летят прямо на радар или от него. Причина ясна — резко падает площадь отражения.

Вклад в уфологию не состоялся, ибо интеллектуальной гигиеной инженер Полетаев владел задолго до того, как стал обучать других...

Некую даму спросили, что она думает по какому-то поводу. Дама возмутилась: «Откуда я знаю, если я ничего еще не сказала». От всех нас эта дама выгодно отличается искренностью. Мы все сначала говорим, и очень хорошо, если потом думаем. Семинары, рабочие группы, конференции потому и возникли.

Но попробовали бы вы общаться в таком стиле с Полетаевым. Вы бы услышали: «А вы не интонируйте...» Жестокое требование: обсуждать только хорошо продуманное — вот условие общения с ним. И все прекрасно знали, что его требовательность — это требовательность прежде всего к самому себе. Обсуждать с Полетаевым новую для вас идею было очень трудно, но уж если удалось с ним поговорить — вы своей идеей владели. И как же сейчас хочется услышать: «А вы не интонируйте...»

«...Не говори с тоской — их нет, но с благодарностию — были».

«Не будем спешить, побуждаемые эгоистической жаждой вкусить от плодов дел наших» (К. Д. Ушинский).

Полетаев никогда не спешил...

## Заключение

Работы ученого, конечно, самое главное в его жизни. Но ученый прежде всего — человек, и его личность многое определяет в его работе. Многое, но не все, ибо и наука (его наука) мощно воздействует на его личность. И какие бывают трагедии неосуществленных идей...

Есть, однако, и третья ипостась ученого. Это его влияние (взаимное, конечно) на социум. В оптимистическом (и оптимальном) варианте — это жизнь и работа внутри научной школы. Но так здорово бывает не всегда...

Неминуемо наступает время, когда работы уже не читают. Начинаются цитаты и цитаты цитат.

Дальше наступает научный фольклор, за которым следует миф. Типичный пример: «А все-таки она вертится». Вряд ли эта фраза была произнесена, да это и не важно. Важно, что современники именно так поняли и запомнили Галилея. Важно, что это понимание определило историю, и не только научную, целой эпохи.

Миф (он же художественная правда), миф — концентрация самой сути творчества Ученого — это и есть подлинная “Life after life”.

И тогда главным и единственным Судьей оказывается Будущее:

О люди! жалкий род, достойный слез и смеха!  
Жрецы минутного, поклонники успеха!  
Как часто мимо вас проходит человек,  
Над кем ругается слепой и буйный век,  
Но чей высокий лик в грядущем поколенье  
Поэта приведет в восторг и умиленье!