



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Г. А. Леонов, Динамические принципы прогнозирования и управления, *Пробл. управл.*, 2008, выпуск 5, 31–35

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.171

22 марта 2025 г., 03:04:36



ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Г.А. Леонов

Описаны подходы к прогнозированию и управлению, основанные на общих закономерностях проявления неустойчивостей в динамических системах. Эти подходы, развиваемые в рамках экспериментальной математики, предполагают отказ от попыток построения, идентификации и анализа приближенных моделей весьма сложных реальных динамических объектов. Вместо этого делаются попытки набрать некоторый экспериментальный материал на реальной модели и использовать его при получении прогноза и построении управления. Отмечено, что возникновение неустойчивостей характеризуется общими закономерностями, учет которых приводит к некоторым общим принципам качественной теории управления.

Ключевые слова: прогноз, управление, принцип Клаузевица, принцип «Master-slave».

ВВЕДЕНИЕ

Для динамических систем, порожденных дифференциальными

$$\frac{dx}{dt} = f(x)$$

или разностными

$$x(t+1) - x(t) = f(x(t)), \quad x \in R^n,$$

уравнениями, имеет место следующее очевидное свойство решений

$$x(t+s, s, x_0) = x(t, 0, x_0) \quad (1)$$

для любой константы $s > 0$. Это свойство сохраняется и для более общих описаний динамических систем (в смысле их фазовых пространств или нелинейных операторов, действующих в этих пространствах).

Из равенства (1) следует, что участки траектории $x(t, x_0)$, начинающиеся в точке x_0 в момент времени $t=0$ и в момент времени $t=\tau$, совпадают.

Отсюда следует повторяемость физических экспериментов при одних и тех же условиях, и аналогичным образом — возможность прогнозирования процессов и управления ими.

Однако из-за проявления неустойчивостей, которые в последнее время интенсивно изучаются [1], отмеченное совпадение очень часто возможно

только на сравнительно небольших временных интервалах $(0, \tau)$ и $(s, s + \tau)$.

В настоящей работе мы опишем некоторые подходы к прогнозированию и управлению, основанные на общих закономерностях проявления неустойчивостей в динамических системах. Эти подходы, развиваемые в рамках «экспериментальной математики», основаны на отказе от попыток построения, идентификации и анализа приближенных моделей весьма сложных реальных динамических объектов. Вместо этого делаются попытки набрать некоторый экспериментальный материал на реальной модели и использовать его при получении прогноза и построении управления. Кроме того, возникновение неустойчивостей характеризуется общими закономерностями, учет которых приводит к некоторым общим принципам качественной теории управления. Эти принципы также будут далее описаны.

1. ПОУЧИТЕЛЬНЫЙ ПРИМЕР. КАК МОЖНО ПРЕДСКАЗАТЬ ПОГОДУ НА НЕДЕЛЮ. ПОЧЕМУ ЕЕ НЕЛЬЗЯ ПРЕДСКАЗАТЬ БОЛЕЕ ЧЕМ НА ДВЕ НЕДЕЛИ

В 1950—1960 гг. прогресс в теории механики сплошных сред, с помощью которой создавались все более точные математические модели изменения атмосферы, в вычислительной математике, с помощью которой создавались все более эффективные алгоритмы решения дифференциальных

уравнений этих моделей, и в создании все более быстродействующих компьютеров, с помощью которых реализовывались эти алгоритмы, сформировал широко распространенное в те годы мнение, что нужно предпринять еще некоторые усилия в этих направлениях и прогноз погоды можно будет с уверенностью делать на многие недели, месяцы и даже годы.

Однако потом оказалось, что длительный прогноз невозможен.

Теоретически невозможность долговременного прогноза погоды была установлена в работах Э. Лоренца и его последователей [1], которые открыли неустойчивости в математических моделях атмосферы. Последнее означало сильную чувствительность решений дифференциальных уравнений, описывающих атмосферные процессы, к начальным условиям. Понимание возможности таких эффектов привело к наблюдательным экспериментам в рамках нового направления в «экспериментальной математике», которые мы здесь опишем.

В Европе накоплен большой материал метеорологических наблюдений. Такие наблюдения регулярно проводились в течение многих десятилетий.

Возьмем, например, наблюдения, которые были проведены 9 мая 2004 г. в выбранном нами регионе Европы. Подберем далее некоторый год (например, 18ху такой, что 9 мая этого 18ху года в этом же регионе наблюдались сходные метеорологические параметры (температура, давление, влажность, сила и направление ветра, облачность и др.). Эти параметры и есть начальные (и граничные) условия, по которым определяются решения дифференциальных уравнений модели атмосферы.

Уравнения адекватны законам механики сплошных сред. В разные годы эти законы не изменяются. Следовательно, и уравнения не изменяются. А решения однозначно определяются по уравнениям и начальным данным.

Начальные данные 9.05.2004 и 9.05.18ху одинаковы, уравнения одинаковы. Значит и решения, которые соответствуют изменению метеорологических данных (температуре, давлению, влажности и др.) также должны быть одинаковыми.

Следовательно, эти параметры, которые наблюдались в течение месяца (с 9.05 по 9.06 2004 и с 9.05 по 9.06.18ху), должны с хорошей точностью совпадать для каждого дня из выбранного временного промежутка. Например, метеоусловия 1.06.2004 и 1.06.18ху должны быть очень близки друг к другу.

Однако описанные нами эксперименты показывают, что такие совпадения имеют место на временных интервалах продолжительностью не более двух недель. В течение недели может быть хорошее совпадение и этим часто пользуются в метеорологии для краткосрочных прогнозов. Далее результа-

ты наблюдений резко расходятся. Поэтому метеоусловия на 1.06.2004 и 1.06.18ху, как правило, совершенно разные.

В чем же дело? Здесь оказывается, что небольшие расхождения в начальных данных в начальные моменты наблюдений приводят к большим расхождениям в наблюдаемых параметрах уже через две недели.

Таким образом, как бы точно мы ни описывали математическую модель атмосферы, какие бы совершенные методы вычислений к этим моделям мы ни применяли, какой бы быстродействующей техникой мы ни пользовались, результат будет один: больше, чем на две недели надежный прогноз погоды невозможен.

По этой причине японцы отказались делать прогнозы на срок более десяти суток.

Отметим здесь одно важное обстоятельство. Если в традиционном подходе основные проблемы состоят в построении все более точных математических моделей, разработке и реализации численных алгоритмов решения дифференциальных уравнений и идентификации параметров этих уравнений, то в описанном здесь подходе необходимо перейти к созданию специальных баз данных.

2. ПРЕДСКАЗАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РЫНКА КАК АНАЛОГ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОГОДЫ. КАКИЕ АНАЛОГИИ МОЖНО ПРОВЕСТИ МЕЖДУ ИЗМЕНЕНИЯМИ ПОГОДЫ И ИЗМЕНЕНИЯМИ РЫНКА?

Если физические законы и соответствующие им уравнения конвекции верны для любого временного интервала, то аналогичные законы рынка зависят от политики, финансового состояния и усмотрений участников рынка, которые неизменны лишь на коротком промежутке времени $[t_0, T]$ (это дни или часы). Этим законам подчиняются изменения переменных величин рынка $x_j(t)$. Их (если проводить аналогию с предсказанием погоды) должно быть около десятка $j = 1, \dots, 10$.

Начальные (и граничные) условия в предсказании погоды здесь заменяются изменениями переменных на некотором «начальном» промежутке $[t_0, t_1]$ (t_1 значительно меньше T .) Здесь можно провести некоторую аналогию с «начальной функцией» для дифференциальных уравнений с запаздыванием.

Гипотеза. *Существуют классы рынков таких, что из «хорошего» совпадения всех наблюдаемых временных характеристик рынка $x_j(t)$, $j = 1, \dots, N$, на промежутках $[t_0, t_1]$ и $[t_0 + \tau, t_1 + \tau]$, $t_1 + \tau < T$, следует их «хорошее» совпадение и на некоторых промежутках $[t_0, t_1 + \varepsilon]$ и $[t_0 + \tau, t_1 + \tau + \varepsilon]$, $t_1 + \tau + \varepsilon < T$. ♦*



«Хорошее» означает некоторое предварительное «сглаживание или усреднение» величин $x_j(t)$. Это аналогично тому, что мы учитываем, например, некоторое «среднее» значение скорости ветра, сглаживая на небольших временных интервалах его порывы или ослабления.

Таким образом, по-видимому, поведение некоторых рынков можно предсказывать на небольших временных интервалах так, как предсказывают сейчас погоду по схожим параметрам (характеристическим переменным) в предыдущих наблюдениях.

Безусловно, высказанная здесь гипотеза нуждается в проверке на конкретных многопараметрических рынках. Здесь важно удачно определять (также из экспериментов) масштабы времени (т. е. значения t_1 , T , τ и ε).

3. ПРИНЦИП КЛАУЗЕВИЦА

Этот принцип изучают в любой академии Генерального штаба любой страны, которая заботится о своей безопасности. Для нас очень важно, что он допускает широкие обобщения и применим не только к вооруженной борьбе между государствами.

Сформулируем принцип Клаузевица для военных действий.

Любая военная операция должна быть спланирована ограниченной в пространстве и во времени. Следующая операция планируется с учетом итогов предыдущей операции.

Таким образом, любая война, какие бы цели она ни ставила, должна быть разбита на отдельные операции со своими тактическими целями, следующими одна за другой.

Цели операции, силы и средства, привлекаемые для ее выполнения, корректируются с учетом итогов предыдущих операций.

Выбор пространственных и временных ограничений операции составляет предмет военного искусства. Они выбираются из зачастую печального и кровавого предшествующего опыта.

Подчеркнем аналогию с невозможностью предсказать погоду более чем на две недели.

Здесь в сложной вооруженной борьбе также могут проявиться неустойчивости, и заранее утвержденные планы и шаблоны могут уже сами быть причиной краха операции.

Яркий пример применения принципа Клаузевица представляют собой знаменитые «10 Сталинских ударов» 1944 года. Предыдущий опыт войны привел Генеральный штаб Красной Армии к выводу, что оптимальный срок проведения операции 1—2 мес, ее пространственные рамки — 200—300 км. Для этих операций были созданы соответствующие организации — фронты (Ленинградский, Ка-

рельский, Белорусские, Украинские, Прибалтийские). Соединение военного опыта с точным следованием принципу Клаузевица приводило к следовавшим друг за другом успехам всех десяти операций: снятию блокады Ленинграда, освобождению Крыма, Юго-Западной Украины (Корсунь-Шевченковская операция), Белоруссии (операция «Багратион»), Молдавии (Яско-Кишиневская операция) и других регионов СССР.

Стремление после окончания спланированной операции «развить успех», т. е. по инерции продолжить движение, часто кончалось крахом.

Яркий пример этому — жестокое поражение Красной Армии в 1920 г. под Варшавой, крах немецкой армии под Сталинградом.

Поэтому кажущиеся непрофессионалу неестественными остановки немецкой армии под Дюнкерком в 1940 г. (в это время английская армия успела эвакуироваться через Ла-Манш) и Красной Армии под Варшавой в 1944 г. (в это время началось Варшавское восстание) были совершены в полном соответствии с принципом Клаузевица. В этих обоих случаях закончились предыдущие операции и нужно было спланировать и подготовить новые — взятие Дюнкерка и Варшавы.

Принцип Клаузевица необходимо учитывать при проведении любых глобальных реформ (в стране, в фирме, в государственной структуре). Необходимо четкое разделение планируемых преобразований на отдельные части, нужно последовательно проводить отдельные преобразования в жизнь, получить результаты и далее планировать с их учетом дальнейшие преобразования. Затем получить результаты второго этапа преобразований, учесть их при планировании третьего этапа реформ. И только после такого тщательного планирования запустить третий этап. И так далее.

Как разительно отличается управление процессом реформ, вытекающее из принципа Клаузевица, от непоследовательных действий руководства СССР и России в 1980—1990 гг.!

Безусловно, выбор глубины и времени каждого этапа реформ — это предмет административного и экономического искусства (также как аналогичные параметры для военной операции — предмет военного искусства). Конечно, необходимо, чтобы поставленные на каждом этапе цели были достижимы (т. е. чтобы инструментов и средств было достаточно для достижения поставленной цели).

И очень важно, соблюдая указанную выше последовательность действий, не упускать из виду поставленной конечной глобальной цели (также как при проведении военных операций глобальная цель — Победа).

4. ПРИНЦИП КЛАУЗЕВИЦА В ЗАДАЧАХ С ОГРАНИЧЕННЫМИ РЕСУРСАМИ

Одна из модификаций принципа Клаузевица состоит в вычленении и последовательном решении приоритетных задач при ограниченных ресурсах. Напомним, что классический принцип Клаузевица — это расчленение основной задачи на последовательные решения специально выделенных подзадач.

Приведем одно из наиболее ярких применений модифицированного принципа Клаузевица.

В результате Первой мировой войны Германия потерпела жестокое поражение. Ее главный союзник — Австро-Венгрия — была расчленена и прекратила свое существование как мощное европейское государство. На Германию были наложены огромные контрибуции и жесткие ограничения на создание современной армии. В 1920-е гг. Германия была бедным и слабым государством. И вдруг, «почти мгновенно», в 1934—1936 гг. была создана мощная армия, оснащенная самым современным вооружением. В 1936 г. армия Германии превосходила по своей мощи армии Англии и Франции вместе взятых.

Каким образом это произошло?

После поражения в Первой мировой войне Германии удалось сохранить ядро Генерального штаба. Это были высокообразованные офицеры, имеющие боевой опыт и опыт организационной и мобилизационной работы. При их поддержке были сохранены старые и созданы новые конструкторские коллективы, разрабатывающие и создающие образцы новой военной техники, которые затем проходили испытания.

Однако запуска в серийное производство не было. Сразу же конструкторы на основе полученных результатов и рекомендаций Генерального штаба переходили к разработке следующего поколения вооружений.

Все это позволило незаметно для других стран создать лучшие образцы вооружений и практически одновременно в 1934 г. запустить их в серию, мобилизовать армию и снабдить ее этим вооружением в течение очень короткого срока. После этого спохватившиеся западные союзники пришли к выводу, что воевать с Германией в 1937 г. — безнадёжное мероприятие.

Приведенный здесь пример еще раз показывает необходимость применения динамических принципов управления.

5. ПРИНЦИП «MASTER-SLAVE»

Принцип «Master-slave» широко распространен в современной технике. Он означает, что множество однотипных устройств (рабов — *slaves*), не свя-

занных друг с другом, одновременно работают, подчиняясь сигналам только одного эталонного устройства (хозяина, мастера — *master*).

Например, включая свой телевизор, вы одновременно включаете «сидящего» в вашем телевизоре «раба» — генератор строчной развертки, который управляет движением луча в электронно-лучевой трубке. На телевизионной станции есть хозяин — эталонный высокостабильный генератор, который посылает в телевизионном сигнале информацию о своей частоте. Эту информацию принимает ваш телевизионный приемник и специальное устройство — блок синхронизации — подстраивает генератора-раба к частоте генератора-хозяина. Раб не так высокостабилен, как хозяин, и все время необходимо следить за тем, чтобы он не «увел» свою частоту в какую-либо сторону. Такое слежение предполагает наличие обратной связи: как только раб начнет «уходить», так блок синхронизации сравнит частоты хозяина и раба и «заставит» раба снова работать на частоте хозяина.

Таким образом, принцип «master-slave» предполагает наличие мониторинга и обратной связи для каждого раба с тем, чтобы раб выполнял свою рабочую функцию.

Примером динамического планирования и управления по принципу master-slave служит конвейер. Master — это высокостабильная скорость конвейера, slaves — это рабочие, выполняющие независимо друг от друга однотипные операции со скоростью, которую «навязал» master — хозяин. Невыполнение с нужной скоростью необходимых операций сразу будет обнаружено (мониторинг) и предприняты меры к устранению такого невыполнения (обратная связь).

Другим ярким примером принципа «master-slave» служит команда пиратского парусного корабля. Без жестко синхронизированного выполнения команд капитана невозможно управление парусным кораблем. Поэтому абсолютно свободные люди — морские разбойники — добровольно организуются в систему «master-slaves» (хозяин-рабы), где они временно лишены какой-либо свободы.

Обычно этот жесткий принцип управления в коллективах людей стараются смягчить некоторыми иллюзиями «социального партнерства» и «корпоративности». Но, в сущности, хозяин остается хозяином, а раб — рабом.

6. ПРИНЦИП ШИРОКИХ ПОЛНОМОЧИЙ (ПРИНЦИП ФЕДЕРАЛИЗМА)

Принцип широких полномочий (принцип федерализма) в определенной степени противоположен принципу «master-slave».

Конечно, не ко всем случаям подходит такое жесткое и одноканальное управление, как master-



slave. Часто наиболее приспособленной к выполнению поставленных требований оказывается иерархическая федеративная система управления.

Здесь также имеется один мастер (например, президент), но есть и подмастерья (например, губернаторы), которым передается часть полномочий мастера. Эти полномочия должны быть весьма широкими. Иначе система будет близка к работе по принципу master-slave. Однако здесь работа происходит на границах областей устойчивости. Поэтому в структуре системы необходимо предусмотреть серию специальных административных противоаварийных мер.

Прежде всего, в системе должен быть предусмотрен (и практически на автоматическом уровне применяться) механизм быстрой и решительной смены подмастерья, если он не удовлетворяет возложенным на него обязанностям и предъявляемым к нему требованиям.

Далее, должна быть предусмотрена система подготовки, подбора и воспитания подмастерьев, которая также выступала бы стабилизирующим фактором.

Ясно, что при хорошо отлаженной и правильно функционирующей федеративной системе все игроки подчиняются целой системе писаных и неписаных правил. Возникает традиция и система ценностей, на которую ориентируются все участники процесса.

Из изложенного следует, что частая и регулярная сменяемость и мастера, и подмастерьев не является стабилизирующим фактором. Скорее, наоборот. В каждой такой смене кроются элементы дестабилизации. И чем сложнее управляемая динамическая система, тем в большей степени они могут проявиться.

7. ПРИНЦИП НЕПРЕРЫВНОГО УСПЕШНОГО ПРОЦЕССА

Принцип непрерывного успешного процесса также является динамическим принципом управления, который стабилизирует систему, не дает возникнуть и развиться неустойчивостям, которые могут привести к хаосу и разрушению системы «изнутри».

В математической теории динамических систем хорошо известно, что предвестниками развития неустойчивых процессов служат колебательные или «разнонаправленные» движения [1]. В динамической системе, где каждая ее подсистема эволюционирует с положительными производными, как правило, происходит подавление неустойчивостей.

Этот принцип давно применяется в кадровой политике крупных западных фирм. Он трансформируется здесь в следующее правило.

Работника не рекомендуется понижать в должности, понижать его зарплату. Только движение вверх. Вплоть до последнего дня работы в фирме, когда ему объявляют об увольнении.

Другими словами: лучше уволить, чем понизить.

В этом случае элементарная подсистема — конкретный работник — непрерывно двигается только вверх.

Хорошо известно, что резкое падение какого-либо показателя может привести к частичному или полному разрушению системы. Так началась Великая американская депрессия 1930-х гг.: на Нью-Йоркской фондовой бирже внезапно и резко упали курсы акций.

8. ЗАКОН ТЕРМИДОРА

После каждой революции наступает диктатура.

Этот закон явился обобщением многих исторических фактов в различных странах: в Англии, во Франции, в России и во многих других.

Как можно пояснить это явление в смысле возникновения и подавления неустойчивостей?

Во время революции оказываются снятыми многие ограничения — возникает много различных «степеней свободы» (в механике этот термин имеет точное значение). Социальная система становится более «многомерной». И такая многомерность может приводить (и, как правило, приводит) к неустойчивостям, которые в свою очередь влекут за собой хаотизацию общества. Общество срывается в хаос, который подавляется только одним (к сожалению!) способом — резким ограничением «степеней свободы». И система становится «маломерной» (а иногда и одномерной, одноканальной — вспомним принцип master-slave).

Такое ограничение свобод подавляет хаос: наступает диктатура, которая некоторое (иногда очень короткое) время приветствуется большинством общества.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Леонов Г.А.* Хаотическая динамика и классическая теория устойчивости движения. — М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2006. — 160 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Д.А. Новиковым.

Леонов Геннадий Алексеевич — д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН, декан, Санкт-Петербургский государственный университет, ☎ (812) 428-69-44, e-mail: leonov@math.spbu.ru