

А.Ю. Петухов

Alexander Y. Petukhov

Цепные разветвлённые реакции в сложных социальных системах

Branched chain reaction in complex social systems

Статья подготовлена по результатам научно-исследовательских работ, выполненных при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для молодых кандидатов наук № МК-259.2013.6

Аннотация, abstract: Данная статья посвящена вопросам моделирования цепных реакций, как одного из вариантов пороговых эффектов в сложных социальных системах. Для создания математической модели используется социально-энергетический подход и математический аппарат представления цепных разветвлённых реакций в химии.

This article is devoted to the modeling of chain reactions, as one of the variants of threshold effects in complex social systems. The social-energy approach and mathematical tools of branched chain reactions in chemistry are used to create the mathematical model. Internal processes in the social system are considered Wiener processes.

Ключевые слова, keywords: моделирование, цепные разветвлённые реакции, социально-энергетический подход, сложный социальные системы, пороговые эффекты, chain reactions, mathematical modeling, complex social systems, socio-energy approach.

Автор, author: Петухов А.Ю. – ННГУ им. Н.И. Лобачевского, кандидат политических наук, директор центра моделирования социальных и политических процессов, Lectorr@yandex.ru

Petukhov, Alexander Y. – UNNNILobachevski, Russia; PhD in political science; director of the modeling of social and political processes of UNNNILobachevski; Lectorr@yandex.ru

УДК 303.094

Статья поступила в редакцию: 14.05.2013

Статья принята к печати: 12.06.2013

© А.Ю. Петухов, 2013

Введение

Что такое цепная реакция хорошо знают физики, химики и представители некоторых других естественнонаучных дисциплин. Вместе с тем, достаточно давно это понятие используется и применительно к обществу.

О цепных реакциях можно услышать как от журналистов, так и от социологов, экономистов, политиков и многих других. Однако найти непосредственное научное обоснование этого эффекта в обществе и условий его возникновения достаточно сложно в открытой научной литературе. Скорее всего, это связано со сложностью определения параметров социальной среды, их присвоения в принципе, ведь аналогии из естественных дисциплин оперируют, как правило, точными цифрами. По сути, смысл самого этого эффекта в детерминированности параметров и точности их определения. Без этого говорить о возможности прогнозирования таких процессов, изучения условий их возникновения – невозможно. Вместе с тем, социальные процессы не могут быть точно определены. Параметры, которые присваиваются социальной системе, как правило, достаточно искусственные, и уже по своему определению, не могут быть точными. Так как же с их помощью определить эффект, для которого малейшие колебания его основных характеристик могут привести к качественному изменению состояния системы?

Для того чтобы разрубить этот Гордиев узел, необходимо сменить подход к социальной системе и отказаться от попыток присваивания ей собственных параметров частного характера, пытаясь со стороны определить состояние данной системы. И, напротив, обратиться к параметрам косвенным, или распределённым по индивидам. Т.е. мы исследуем не состояние самой системы напрямую, а, прежде всего, влияющие на него условия. Разумеется, это имеет смысл лишь, когда нам легче определить данные условия, нежели состояние системы. Здесь же следует и оговориться, что, вообще говоря, с соци-

альной системой значительно сложнее, чем с ураном, ведь нейтроны в отличие от людей, не имеют свободы воли и способностью принимать собственные решения. Однако и это возможно учесть математически с помощью стохастических уравнений [1-3], которые способны учесть флуктуации для социальной системы с известными допущениями.

Итак, что мы предлагаем? О каких косвенных параметрах шла речь?

Предлагаемый нами социально-энергетический подход (СЭП) к описанию социальных систем и процессов представляет собой масштабируемый логико-математический аппарат, сочетающий несколько различных методов. В основе своей он имеет оценку состояния социальной системы с помощью специально введённого параметра – «социальной энергии» или $E_{\text{соц}}$ (далее просто E) [2-3]. Социальная энергия есть величина, характеризующая потенциальную возможность социальной системы совершить работу. Эта величина имеет общее с энергией в её физическом понимании, но даёт нам определённые вольности в трактовке ещё «неиспользуемой энергии», т.е. несовершенной работы, в оценке возможной энергии людского труда, ещё не добытых ресурсов и т.д. Данный момент для построения модели очень важен, так как для оценки социальной системы необходимо учитывать все факторы, которые способны на неё повлиять. Например, людской труд, являются часто в системе определяющим параметром и в тоже время очень тяжело классифицируемым с точки зрения стандартных физических понятий.

Данный параметр позволяет представлять внутрисистемные и внесистемные процессы как изменение или перераспределение

энергии внутри системы и между системами. Используются так же и основные принципы системного подхода [4].

Внутренние процессы в социальной системе считаются винеровскими процессами. Винеровский процесс – в теории случайных процессов – это математическая модель броуновского движения (его описывает уравнение Ланжевена) или случайного блуждания с непрерывным временем [1].

Подробнее о «социально-энергетическом подходе», его математическом аппарате, нюансах и т.д. [2-3, 5-6].

Модель коммуникационного поля

С помощью данного подхода были проведены ряд численных экспериментов по расчёту изменения параметров социальной системы находящейся под информационным влиянием другой системы. Однако для описания так называемых «пороговых эффектов» и «переходных процессов» – этого может быть недостаточно, ведь функционально эти явления существенно отличаются от «классических» режимов существования социальной системы.

Сначала необходимо определить базовые обозначения. В теории динамики социальных систем пороговый эффект появляется при достижении определённого критического значения одним или несколькими параметрами, в результате чего система претерпевает качественные изменения в относительно короткий промежуток времени.

Переходные процессы это процессы, протекающие между двумя устойчивыми положениями системы, в нашем случае они проявляются при достижении порогового эффекта.

Как уже было отмечено сложность описания социальных и политических процессов заключается, в том числе и в их зависимости от «свободы воли человека». Т.е. рассматривая социальную систему, следует помнить, что каждый индивид представляет собой определённый «центр» способный к генерации собственных решений и действий не всегда зависящих от общих законов, действующих в окружающей его среде. Более того, каждый индивид представляет собой определённую психофизическую систему с несколькими уровнями восприятия и обработки информации и соответствующей личностной индивидуальностью, сформированной особенностями социальной окружающей лично его среды и неповторимого генетического кода человека, а так же целого ряда факторов, которые в разных приближениях можно оценить как случайными, так и закономерными.

Отчасти, как было уже сказано, это возможно решить путём представления социальных процессов как винеровских, т.е. предполагая проявления человеческой «свободы воли» подобия флуктуациям и моделируя их в виде определённой стохастической силы.

Несложно догадаться, что в отличие от физических систем, где переходные процессы, к примеру, определяются, как реакция динамической системы на приложенное к ней внешнее воздействие с момента приложения этого воздействия до некоторого установившегося значения во временной области, для социальной системы не стоит ограничиваться лишь внешним воздействием другой социальной системы или внешней среды. Действительно, индивид, или группа индивидов способны самостоятельно без внешнего (внесистемного) воздействия оказать влияние на систему, тем самым выведя её из

состояния равновесия, что для физической системы представлялось бы невозможным. Это объясняется тем, что индивид сам собой представляет собой крайне сложную систему, которая благодаря некоторым законам психологии, никогда не может быть целиком включённой в другую (например, социальную) систему, потому его решения могут быть сформированы в некотором смысле вне системы, в которой он по всем социальным признакам находится. Наиболее яркие проявления этого – люди с серьёзными психическими отклонениями. Часть времени они могут действовать в рамках окружающей социальной системы, подчиняясь её законам и правилам, другую часть (например, находясь в так называемом «сумеречном состоянии») в полной оторванности от окружающей действительности или даже резко нарушая её правила и установившие порядки.

Это существенно осложняет выбор или создание теории для описания протекания цепных реакций в социальных системах. Очевидно, что большинство физических моделей не удовлетворяют необходимым требованиям для симуляции внутрисистемных процессов. Частично это решается с помощью стохастических уравнений, т.е. социальные и политические процессы полагаются винеровскими. Созданная ранее модель коммуникационного поля с помощью социально-энергетического подхода [2-3,5] способна в частном случае моделировать развитие социальной системы, эволюционный переход из одного устойчивого состояния в другое, но при моделировании краткосрочных качественных изменений её возможностей очевидно не хватает. Не будем её полностью здесь приводить, подробнее можно с ней ознакомиться по соответствующим ссылкам выше, но на-

помним, что **Holyst J.A., Kacperski K., Schweiter F. предложили удобную модель общественного мнения на основе представления взаимодействия между индивидами, в виде броуновского движение [1,7].**

Применив социально-энергетический подход и отойдя от безликих ± 1 к коэффициентам K_n – научного развития и K_c – социальной и духовной активности, в неё пришлось внести ряд существенных изменений. В данном процессе индивиды участвуют, взаимодействуя посредством поля коммуникации:

$$h_k(x, t), x \in S \subset \mathbb{R}^2$$

Это поле учитывает пространственное распределение коэффициентов и распространяется в обществе, моделируя перенос информации. Однако нужно понимать, что речь идёт о социальном пространстве, которые имеет физические признаки, но в условиях развития информационных средств понятно, что воздействие одно индивида на другого необязательно осуществлять, находясь физически рядом. Таким образом, это пространство – многомерное, «социально-физическое», характеризующие возможность одно индивида «дотянуться» своим коммуникационным полем до другого, то есть повлиять на него, на его коэффициенты и возможность перемещаться. Понятно, что помимо, собственно, физических пространственных координат, в нём будут и социальные координаты (характеризующие социальное положение индивида и учитывающие информационную проницаемость общества).

Пространственно-временное изменение поля коммуникации учитывается с помощью уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial t} h_k(x, t) = \sum_{i=1}^N f(k_i, k_n) \delta(x - x_i) + D_n \Delta h_k(x, t) \quad (1)$$

$\delta(x - x_i)$ – функция Дирака – δ

$f(k_i, k_n)$ – функция, определяющая силу влияния индивида на конкретного другого индивида, зависит от их коэффициентов.

N – число индивидов

D_h – коэффициент диффузии, характеризующий распространение поля коммуникации.

Каждый индивид, находящийся в точке x_p , непрерывно вносит свой вклад в поле $h_k(x, t)$ в соответствии с показателями своих коэффициентов (которые так же определяют и силу влияния индивида на окружающих индивидов, и радиус этого влияния).

Поле $h_k(x, t)$ осуществляет влияние на индивида I следующим образом. Находясь в точке x_i , индивид попадает под воздействие коммуникационного поля другого индивида (или нескольких). В зависимости от его от разности его коэффициентов и коэффициентов, воздействующих на него индивидов, он может реагировать следующими способами:

1. Изменяет значение своих коэффициентов под влиянием других индивидов
2. Перемещается в направлении той области, где разность коэффициентов относительно минимальна в настоящий момент.

Таким образом, с помощью данной модели было проведено компьютерное моделирование информационного воздействия одной социальной системы на другую, которое выявило закономерность протекания таких

процессов, как рефлексивность, а так же наличие характерных пиков (точек бифуркации) [3,5]. Особенности генерации данных пиков, говорят о наличии в таких процессах пороговых эффектов, но ввиду широкого использования стохастических уравнений и, соответственно, серьёзного элемента случайности и флуктуаций на выходе, делает область применения данной модели ограниченной.

Действительно, как уже было сказано выше, при пороговых эффектах малое изменение любого параметра может привести к качественному изменению всей системы. Вместе с тем, при применении данной модели слишком высока неточность определения и изменения таких параметров. Это делает возможным её использование в прогнозировании в некоторых случаях развития системы без резких изменений, в том числе и при информационных войнах, когда имеется ярко выраженный вектор изменения параметров.

Соответственно, для более точного описания пороговых эффектов необходима математическая теория уже апробированная для них с необходимыми изменениями, учитывающими специфику человеческого поведения (как индивидуального, так и массового).

Цепные разветвлённые реакции

Как уже отмечалось в физике и химии, что такое цепные реакции и как их предсказывать и более того, как ими управлять, знают весьма неплохо. Создано несколько моделей и теории для ряда явлений. Существенный интерес для нашего исследования представляют так называемые «цепные разветвлённые реакции».

В химии цепная реакция, в которой, кроме реакций инициирования, продолжения и обрыва цепей, протекают реакции разветвления цепей. В реакции разветвления один активный центр генерирует появление двух или более активных центров (атомов, радикалов). Примеры цепных разветвленных реакций: горение водорода, окисление окиси углерода, горение паров фосфора, распад NCl_3 [8].

Цепные разветвленные реакции обладают рядом существенных отличий от цепных неразветвленных. Механизм этих реакций был открыт Н.Н. Семеновым и С. Хиншельвудом (а так же их командой) в 1925-28 гг. Изучая условия воспламенения паров фосфора, Н.Н. Семенов, Ю.Б. Харитон и З.Ф. Вальта установили, что переход от отсутствия реакции к вспышке паров происходит при строго определенном давлении кислорода, которое зависит от диаметра сосуда. В 1928 г. Семенов предложил цепной разветвленный механизм процесса с участием атомов кислорода [9].

Цепная радикальная реакция реализуется, если превращение реагентов происходит через активные промежуточные частицы – атомы и радикалы, а реакции с их участием образуют замкнутый цикл превращений и продолжение цепи осуществляется быстрее, чем обрыв. Цепная реакция является развет-

вленной, если в ней протекает такая стадия, в которой один радикал или атом генерирует образование нескольких атомов и радикалов. В результате при благоприятных условиях в ходе реакции нарастает концентрация активных центров и, соответственно, увеличивается скорость реакции. Это часто приводит к воспламенению или взрыву. Если разветвление происходит в результате взаимодействия атома (радикала) с молекулой, то в силу сохранения нечетного числа электронов в радикальных реакциях в системе из одной возникают 3 частицы с неспаренным электроном (в общем случае $2n + 1$).

Важной кинетической особенностью разветвленных цепных реакций, которая отличает их от других реакций, в том числе и цепных, являются критические, или предельные явления. Для систем, которые превращаются по механизму цепных разветвленных реакций, характерно наличие условий, когда реакция протекает быстро, часто с взрывом. Переход от одного режима к другому происходит при незначительном изменении условий в области критического их значения. Так, например, пары фосфора при фиксированном соотношении $[\text{P}_4]:[\text{O}_2]$ реагируют с кислородом в области давления p , которое заключено между двумя предельными давлениями p_1 и p_2 : $p_1 < p < p_2$. При $p < p_1$ и $p > p_2$ пары фосфора не реагируют с кислородом. Область воспламенения зависит и от состава смеси, так что критическое условие воспламенения описывается уравнением (C_1 и C_2 – константы) [8].

Цепной взрыв – очень быстрое (взрывное) протекание цепной разветвленной реакции в условиях нестационарного режима ее протекания, когда разветвление цепей превалирует над их обрывом.

Критические явления в цепных разветвленных реакциях – когда цепная разветвленная реакция протекает в условиях, при которых скорости разветвления и обрыва цепи близки, то в таком режиме существует очень сильная (критическая) зависимость скорости протекания реакции от условий ее проведения, таких как температура, давление, размеры реакционного сосуда, концентрация реагентов, количество химически активной примеси вещества – ингибитора этой цепной реакции. Достаточно незначительного изменения одного из параметров, чтобы перейти от быстрого (взрывного) протекания реакции к ее практической остановке и наоборот. Такие граничные условия называются критическими [8].

Область развития цепной разветвленной реакции зависит и от температуры. При фиксированном составе смеси и $p = \text{const}$. существует температура, выше которой наблюдается быстрая реакция, а ниже которой реакция не протекает. В координатах p - T область воспламенения для цепной разветвленной реакции имеет вид полуострова с мысом (T_{\min}), так что при $T < T_{\min}$ реакция не протекает при любом давлении в системе. Предельные явления объясняет общая теория цепных разветвленных реакций.

В цепной неразветвленной реакции концентрация активных центров n зависит только от скоростей инициирования v_i и обрыва ($v_i = gn$, где g – удельная скорость обрыва цепей в присутствии ингибитора InH , $g = k_{\text{InH}}[\text{InH}]$), в квазистационарном режиме $n = v_i/g$).

В цепной разветвленной реакции ситуация принципиально иная. Акты разветвления обеспечивают возможность прогрессивного

увеличения концентрации активных центров во времени. При обрыве и разветвлении цепей по реакции 1-го порядка с удельными скоростями g и f , соответственно, скорость изменения концентрации активных центров n описывается уравнением [8]:

$$dn/dt = v_i - (g-f)n \quad (2)$$

Возможны два принципиально различных режима протекания реакции. Квазистационарный, когда $g > f$, т. е. обрыв преобладает над разветвлением; тогда $n = v_i / (g-f) = \text{const}$, начиная с $t > (g-f)^{-1}$, и нестационарный, когда $f > g$, т. е. преобладает разветвление. В этом случае концентрация активных центров непрерывно нарастает во времени, и если не принимать во внимание расходования реагентов и изменения во времени v_i, g и f , то

$$n = v_i(f-g)^{-1}(e^{(f-g)t} - 1) \quad (2')$$

Критическим условием перехода системы из одного состояния в другое является равенство $f = g$. Таким образом, цепная реакция с разветвлением протекает как самоускоряющийся процесс только тогда, когда активные центры быстрее вступают в акты разветвления, чем в акты обрыва [8].

Здесь становится понятно, почему именно цепные разветвленные реакции выбраны в качестве аналога протекания предельных явлений в социальных и политических процессах. Действительно процесс генерации активных центров в химической реакции удивительно похож на процесс генерации центров активности при массовых беспорядках, революции, даже просто при информационной войне затяжного типа. Но и немало отличий. Прежде всего, они касаются параметров модели. Индивиды и группы

индивидов должны быть описаны шире, чем свободные радикалы и молекулы. Их возможности шире, варианты воздействия и взаимодействия.

Итак, составим небольшую модель распространения информационного «вируса-идеи» в социально-физическом пространстве. Предположим, что данный информационный вирус активен, эффективен и способен достаточно быстро поражать когнитивные установки индивида для последующего инфицирования следующего.

Тогда:

N – количество носителей «вируса»,

G – скорость обрыва информационных цепей,

F – скорость разветвления информационных потоков в среде,

V_t – скорость инфицирования индивидов,

Внешний вид уравнения не изменится:

$$\frac{dN}{dt} = V_t - (G - F)N \quad (3)$$

Однако его параметры поменяются существенным образом.

$$G = f(K_c, K_n, I_p, S_p, X_{ext})$$

$$F = f(K_c^N, K_n^N, I_p, S_p, X_{ext})$$

Где

K_c, K_n – коэффициенты социальной активности и научного потенциала соответственно для неинфицированных индивидов или групп индивидов;

K_c^N, K_n^N – коэффициенты социальной активности и научного потенциала соответственно для инфицированных индивидов или групп индивидов (т.е. активных центров);

I_p – информационная проницаемость данной социальной системы;

S_p – социальная проницаемость данной социальной системы;

X_{ext} – функция, определяющая информационный вирус и сопутствующее внешнее воздействие на социальную систему (его может практически и не быть).

Так же, важно заметить, что в отличие от химии, информационный вирус теоретически может быть передан одним центром неограниченному количеству других индивидом. На практике, конечно, такого не бывает, так как количество знакомых у большинства индивидов весьма ограничено, поэтому здесь можно использовать среднестатистические параметры.

Например, если параметр ветвления $\mathbf{U} = 2$, это выглядит так – рисунок 1.

Понятно, что это упрощённая модель. Сводить работу средств информационной войны к «заражению» или «не заражению» определённым «вирусом» было бы слишком легко. Однако известно, что базовые человеческие эмоции распространяются по схожей схеме. Например, эпидемиологическое распространение паники в толпе [10-11].

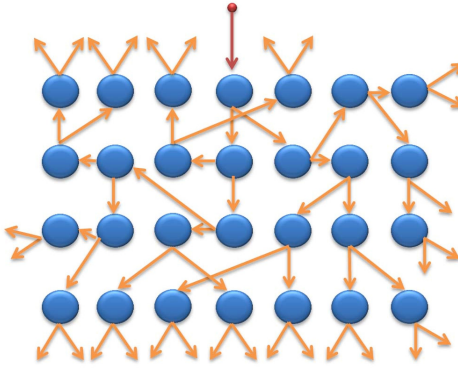


Рисунок 1. Разветвлённая цепная реакция с параметром ветвления = 2

Для дальнейшей работы с данным уравнением (3) следует определить несколько его параметров. Прежде всего, в определении нуждается механизм возникновения порогового эффекта и его отличия от его химического налога. Инициация цепной разветвлённой реакции, возникает, например, как в примере выше из-за предельного давления $p_1 < p < p_2$. Существует и аналог такого давления в общественной среде:

P_{so} – социальное давление, возникающее из-за разности коэффициентов и социальной энергии между индивидами или подсистемами индивидов в границах их коммуникационных полей.

Силу давления легко можно определить через энергию:

$$P_{so} = \frac{2}{3} n \langle E_{in} \rangle \quad (4)$$

где:

n – количество индивидов;

$E_{in} = \Psi E_{total}$ – энергия взаимодействия, т.е. та энергию, которую индивид или подсистема индивидов могут направить на взаимодействие с другими индивидами, или подсистемами индивидов. Очевидно, что она не может быть больше полной социальной энергии индивида;

Ψ – коэффициент передачи энергии.

$$\Psi^i = K_s^i K_{so}^i \quad (5)$$

Таким образом, для каждого индивида верно:

$$E_{in}^i = \Psi^i E_{total}^i \quad (6)$$

Так как диссипации энергии в социально-физическом пространстве нет, то можно считать данную систему гамильтоновой:

$$E_{in}^i = \Psi^i H^i \quad (7)$$

Где H^i – гамильтониан индивида или подсистемы индивидов. Тогда можно записать первое каноническое гамильтоново уравнение:

$$\frac{d}{dt} P_{so}^{ij} = \Psi^i E_{total}^i - \Psi^j E_{total}^j = \Delta(\Psi^{ij} E_{total}^{ij}) \quad (8)$$

Отсюда:

$$\frac{d}{dt} P^{ij}_{so} = \Delta E^{ij}_{in} \quad (9)$$

Что приводит нас к

$$\frac{d}{dt} P^{ij}_{so} = \Delta(\Psi^{ij} H^{ij}) \quad (10)$$

Что является основным уравнением социального давления для описания внутриобщественных взаимодействий между индивидами и подсистемами индивидов.

Заключение

Таким образом, в данной статье предложены основы математической модели, с помощью которых в дальнейшем автор планирует развивать подход и моделировать и изучать пороговые эффекты. Использование апробированных подходов из естественнонаучных дисциплин в гуманитарных приложениях представляется перспективным. Действительно, общность законов природы не может, не распространятся на её неотъемлемую часть – человека, хоть часто мы об этом и забываем.

Моделирование ряда социальных и политических процессов, через механизм генерации и протекания цепных разветвлённых реакций, может оказаться эффективным способом для прогнозирования таких процессов.

Литература

1. Гуц А.К., Коробицын В.В. и др. Математические модели социальных систем. Омск, 2000.
2. Петухов А.Ю. Моделирование манипуляций сознанием масс в политическом процессе с помощью коммуникационного поля //

Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 6-1.

3. Petukhov A., Chuprakova N. Thres hold effects in the social and political processes. Social-energy approach // Modern Research of Social Problem. 2013. no. 8
4. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. СПб, 1997.
5. Петухов А.Ю. Моделирование социальных и политических процессов в условиях информационных войн. Социально-энергетический подход // Fractal Simulation. 2012. №1.
6. Петухов А.Ю., Чупракова Н.С. Моделирование социально-политического развития России в 20-21 веке. Социально-энергетический подход // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2012. № 6-1.
7. Holyst J.A., Kasperski K., Schweitger F. Phase transitions in social impact models of opinion formation // Physica. 2000 V. A285.
8. Денисов Е.Т., Саркисов О.М., Лихтенштейн Г.И., Химическая кинетика. Москва, 2000.
9. Семенов Н.Н. Цепные реакции. Москва, 1986.
10. Лепешкин Н.Я. Психологические основы терроризма и антитеррористической деятельности в современных условиях. Хабаровск. 2008.
11. Ньюстром Дж.В., Дэвис К. Организационное поведение Санкт-Петербург, 2000.
12. Жуков Д.С., Лямин С.К., Фрактальное моделирование социально-политических феноменов и процессов // Pro nunc. Современные политические процессы. 2011. Том 10. № 1.