

## **Управление нелинейными экономическими системами.**

Одной из проблем 21-го века, в частности, экономического и делового мира, является феноменально большое число взаимосвязей между экономическими агентами (потребителей, фирм, банков, рынков, национальных экономик). Это означает, что все такие агенты взаимодействуют и, следовательно, обладают огромной степенью нелинейности, то есть сложности. Сложности часто сопутствует нечто неожиданное, например, хаос и новые типы поведения, которые могут стать проблематичными с точки зрения выживания экономических агентов и систем. Их анализ в рамках эконофизики, применяемый в веб-экономике, означает использование методов и моделей развитых в физике и теории систем для решения нелинейных задач. Прогресс исследований в этой области предсказывает модернизацию корпоративных информационных систем и предвосхищает появление программного обеспечения, которое позволит отразить всю сложность мира бизнеса. Управление рисками в финансовых учреждениях и коммерческих организациях становится целостным.

Слово сложность может принимать различные значения в просторечии и в научном или технологическом жаргоне. Все больше самых интригующих смыслов появляется из нелинейности. Существует динамическая системная сложность. Возможна еще и вычислительная структурная сложность, связанная с теоремами Геделя о неполноте со структурной точки зрения преимущественно принятой в теории информации и информатике, где имеют дело с вычислимостью алгоритмов. Эти смыслы связаны тонко и запутано с понятием энтропии. Задача линейна, если она может быть разбита на сумму взаимно независимых подзадач. Когда, наоборот, различные компоненты и аспекты задачи взаимодействуют друг с другом таким образом, что невозможно их разделение для решения задачи шаг за шагом, то ситуация не

является линейной. Еще один способ выразить ту же концепцию заключается в использовании следующего определения: система является линейной, если ее отклик прямо пропорционален входному воздействию.<sup>1</sup> Такие системы подчиняются принципу суперпозиции: реакция в данном месте и времени обусловленная двумя или более раздражителями является суммой ответов, которые были бы вызваны каждым раздражителем в отдельности.

Системы и проблемы, которые встречаются в природе, существенно не линейны. Тем не менее, для упрощения исследований и для прикладных целей, часто используют линейное первое приближение, если влияние нелинейности можно считать незначительным. То есть математическая модель системы строится так, как если бы она была линейной. Этот подход плодотворен во многих ситуациях. Например, звуковой усилитель не линеен, но в определенном диапазоне частот, он будет вести себя линейно. Значит, его описание в литературе будет линейным, хотя в принципе это не так. Линейные модели полезны потому, что в рамках линейного описания многие естественные системы похожи друг на друга. Их поведение может быть описано одинаковыми уравнениями, даже в очень разном контексте, таком, как механика, электроника, химия, биология, экономика и т.д. Линейный осциллятор представляет собой одну математическую модель, будь то металлическая пружина или электрическая цепь. Сложные системы, напротив, имеют свои собственные математические формализации, а во многих случаях уравнения заменяются численными компьютерными моделями. Многие научно-технические успехи были достигнуты с использованием упрощающих предположений о линейности. Например, Анри Пуанкаре<sup>2</sup> первым обнаружил и описал, как в простой системе трех тел с детерминистическими законами может появляться хаотическое поведение.

---

<sup>1</sup> Morin, E. (2008). On Complexity. Cresskill, NJ: Hampton Press

<sup>2</sup> Poincaré, H. (1890), "Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique", Acta Mathematica, Vol. 13, pp. 1-270

В первой половине 20-го века появилась теория систем.<sup>3</sup> Однако, только появление компьютеров позволило моделировать сложные системы. Эдвард Лоренц формализовал задачу Пуанкаре о системе трех тел.<sup>4</sup> При наблюдении эволюции сложной системы, то есть ее траектории в пространстве состояний, конечные изменения могут происходить из бесконечно малых изменений начальных условий. Иными словами, даже два бесконечно близких начальных состояния будут совершенно разными в будущем. Так как эволюция системы будет существенно отличаться в этих случаях, увеличивая расхождение изначально близких состояний со временем. Моделирование эволюции погоды на континенте показывает, что бабочка машущая крыльями в Бразилии может внести свой вклад в увеличение вероятности торнадо в Техасе. Так что долгосрочные прогнозы становятся невозможными.

Яркую иллюстрацию можно найти в другой небольшой системе, состоящей из хищников, жертв и пищи, доступной для жертв. Линейная модель оказывается упрощенной и не адекватной ситуации. Численность охотников является функцией численности популяции хищников. Та, в свою очередь, будет колебаться в зависимости от наличия жертв. Те, с другой стороны, зависят от наличия пищи, и, если едят слишком много, то могут вывести популяцию охотников за пределы устойчивости. Жертвы и хищники, это система по своей сути нелинейная. Ни один из ее компонентов не может быть изучен в отрыве от других. И действительно, модель Лотки-Вольтерра является классическим примером простой нелинейной модели экологической ситуации.<sup>5</sup> Упрощение этой модели приводит к логистическому уравнению, также известному, как уравнение Ферхюльста, изначально появившемуся при рассмотрении модели роста численности

---

<sup>3</sup> Weaver, W. (1948), "Science and Complexity", American Scientist, Vol. 36, p. 536

<sup>4</sup> Lorenz, E. (1963), "Deterministic Nonperiodic Flow", Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 20, pp. 130-141

<sup>5</sup> P. Grassberger, I. Procaccia (1983). "Measuring the strangeness of strange attractors". Physica D 9 (1-2): 189-208

населения. Кроме чувствительности к начальным условиям, вторым свойством сложных систем является детерминистический хаос. Хотя основные законы (физические, биологические и т. д.) могут быть детерминистическими, тем не менее, возможно хаотическое поведение. Третье существенное свойство сложности проявляется в поведении. Даже когда хорошо известны законы, описывающие динамику ее компонент, сложная система может вести себя необъяснимо с позиции этих законов. В литературе есть примеры как из жизни стай птиц и колоний муравьев, так и поведения групп электронов в полупроводниках.<sup>6</sup> Знание фундаментальных законов, касающихся элементарных частиц или отдельных экономических агентов, является недостаточным для понимания системного поведения взаимодействующих компонентов, потому что в нелинейных системах могут возникнуть новые типы поведения. Мы должны знать, как система определяется взаимодействием между компонентами, а не количеством самих компонентов.<sup>7</sup> Это конечная причина нелинейности. Система, состоящая из множества невзаимодействующих частей, не является сложной. Сложная система требует изучения общего поведения системы. Аналитический подход должен быть целостным. Все большее число взаимодействующих компонентов увеличивает сложность, возможно, в геометрической прогрессии. Поэтому в современной экономике мы все чаще сталкиваемся со сложностью из-за взаимодействий внутри и между системами, которые нас окружают.<sup>8</sup> Включая сложность мировой финансовой системы, сетей (Интернета, электрических и транспортных сетей); корпораций. Так как они все более взаимосвязаны цепочками поставок и спросом, экосистемой. Поведение потребителей подвержено влиянию ТВ, мобильной связи, Интернета, социальных сетей, электронной

---

<sup>6</sup> Anderson P. W. (1972), "More Is Different", Science, New Series, Vol. 177, No. 4047, pp. 393-396

<sup>7</sup> Bridgman, P. (1927), The Logic of Modern Physics, The MacMillan Company, New York, p.26

<sup>8</sup> Lo, A. (2009), "The Feasibility of Systemic Risk Measurement", Written testimony prepared for the U.S. House of Representatives, Financial Services Committee, October 19, 2009

почты. Эта сложность породила сомнения в доминирующей экономической парадигме.

Гипотеза рациональных ожиданий предполагает, что экономические агенты ведут себя рационально и принимают во внимание всю доступную информацию при формировании ожиданий, например, цен акций. Другое доминирующее предположение гласит, что рынки эффективны и не могут обмануть (гипотеза эффективного рынка). Но поведенческая экономика<sup>9</sup> показала не рациональность экономических агентов.

Сложность гипотезы рациональных ожиданий предполагает, что каждый всегда находится в состоянии равновесия и что возмущения могут быть только малы и линейны. Малы, поскольку цена товара в любое время описывается стохастическим уравнением и содержит ожидаемые и случайные бесконечно малые величины. Линейны, так как в результате статистической модели предполагается, что риск каждой отдельной инвестиции (актива) может быть оценен посредством разделения рисков других инвестиций. Каждый отдельный риск это распределение Гаусса, где стандартное отклонение является мерой изменчивости актива. Отсюда следует, что гипотезы рациональных ожиданий могут быть хороши в оценке риска всех и каждой отдельной инвестиции, но предположение об отсутствии взаимосвязи между инвестициями чрезмерно упрощает сложные по своей природе области, делая их предположительно линейными, тем самым недооценивая или даже упуская системный эффект.

Можно утверждать, что глобальные рынки 21 века больше не могут моделироваться линейными системами.<sup>10</sup> Поэтому не удивительно, что экономика, основанная на гипотезе рациональных ожиданий, не предсказывает таких потрясений как кризис в Азии в 1997 году или

---

<sup>9</sup> Питер Бернстайн *Фундаментальные идеи финансового мира. Эволюция*. М.: «Альпина Паблицер», 2009. — 256 с

<sup>10</sup> Bouchaud J. P. "Economics Needs a Scientific Revolution", *Nature*, 2008, Vol. 455, p. 1181

ипотечный кризис 2008 года. Однако ее сторонники возражают, что финансовый крах 2008 года был ожидаемым для рынка экономическим спадом. Согласно этой точке зрения, финансы стали жертвой, а не причиной, экономического кризиса.<sup>11</sup> Нелинейность мировой финансовой системы не может быть охвачена многими конструкциями гипотезы рациональных ожиданий. Потому как хаос может исходить от совместных действий агентов через их взаимосвязь, в экономической системе необходима оценка не только индивидуальных переменных, но и системных, глобальных рисков. Следует отметить, что будет наблюдаться иное поведение агентов, независимо от того рассчитывают ли отдельные из них на свою рациональность: это значит только то, что они значительно взаимодействуют и влияют друг на друга. Отсюда следует, что комплексный подход к финансовым рынкам и экономическим системам вряд ли может быть основан на гипотезе рациональных ожиданий и что радикально новый взгляд на мир необходим.

В то время как экономисты осознают ограниченность текущей модели<sup>12</sup> предложения по ее радикальной реформации, исходят чаще от лиц, находящихся за пределами экономического сообщества.

Предпринимались попытки внедрить радикально новые взгляды в экономфизику, дисциплину, зародившуюся в середине 1990-х годов, которые предполагали: а) импортировать больше элементов эмпирических исследований в экономику (дисциплина в настоящее время напоминает больше математику, чем физику) и б) экономические исследования, основанные на некоторых из разработанных методов в естественных науках для описания сложных систем.

---

<sup>11</sup> Cassidy J. "After the Blowup", The New Yorker, January 11, 2010, p. 30

<sup>12</sup> Stiglitz J., "The Theory of «Screening», Education, and the distribution of income". 1975, American Economic Association; Sonnenschein H. "Market Excess Demand Functions", *Econometrica*, 1972 Vol. 40, pp. 549-563; Scarf H. Some Examples of Global Instability of the Competitive Equilibrium. 1960, IER

Нелинейные системы, находящиеся вне равновесия и организованные беспорядочно, являются инструментами торговли в эконофизике сегодня. Некоторые физики и немногие независимые экономисты все чаще признают в сложных моделях физического мира ситуации, которые напоминают экономические или финансовые условия. Одной из таких моделей являются спиновые стекла<sup>13</sup> характеризующиеся крайней хрупкостью по отношению к малым изменениям параметров и де-факто отсутствием равновесия. В случае исследования эконофизики, моделирование часто состоит в определении экономических агентов (людей, фирм, банков, регуляторов) и правил игры, которая запускается для изучения возможных результатов. Моделирование, основанное на агентах<sup>14</sup>, иногда также называемое сложной адаптивной системой или клеточным механизмом, было открыто Джоном Х. Конвей.<sup>15</sup> Эконофизика моделирования такого рода часто приводит к ситуации сильно отличающейся от вечных квазиравновесных эффективных рынков. Например, катастрофические обвалы могут происходить резко, то, что в модели гипотезы эффективного рынка<sup>16</sup> может произойти только с бесконечно малой вероятностью (в отличие от эмпирических доказательств).

Пока мы ждем от эконофизики или из других источников новую систему взглядов и понятий для экономического развития, увеличивается неопределенность окружающей среды, заставляя предприятия реализовывать целостное (системное) управления рисками. Это больше подходит для финансовых учреждений, но может стать необходимо и для корпораций, с тех пор как выживание, а не рост, станет названием игры в будущей

---

<sup>13</sup> Спиновые стёкла рассматриваются как состояние магнитной системы с случайным распределением спин-спиновых взаимодействий. В системе отсутствует дальний порядок, причем беспорядок в системе не меняется со временем.

<sup>14</sup> Sankaranarayanan K. Study on behavioral patterns in queuing: agent based modeling and experimental approach. [Интернет ресурс] <http://doc.rero.ch/lm.php?url=1000,40,6,20111107144229-PD/2011ECO006.pdf>

<sup>15</sup> Gardner M. (1970), "The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game «life»", Scientific American, N.223, p.120

<sup>16</sup> Гипотеза эффективного рынка может быть сформулирована следующим образом: рынок является эффективным в отношении какой-либо информации, если она сразу и полностью отражается в цене актива.

атмосфере бизнеса, в которой будет доминировать неопределенность и нестабильность.<sup>17</sup>

В финансовых компаниях, управление рисками традиционно разделено на отдельные проблемы. Оперативное управление рисками, с одной стороны, с задачей обеспечения процесса целостности, непрерывности бизнеса и безопасности, а также кредитное и рыночное с другой стороны, с миссией защитить контрагентов рисков. На сегодняшний день управление рисками должно стать процессом, который пронизывает всю фирму и ее экосистемы, охватывая не только зоны риска, но и стратегические цели. С этой точки зрения, существует необходимость в разработке, среди прочего:

- в режиме реального времени интеллектуального анализа отчетности и рисков, в том числе агента на основе моделирования;
- подключения документооборота и обмена информацией между предприятиями и его органами;
- общих процессов управления рисками через цепочки поставок(экосистему);
- XML-стандартов для определения данных рисков, и, возможно, интегрированных риска хранилища данных для предприятия.

Таким образом, вторжение комплексного мышления и системного управления рисками на предприятии повлечет за собой а) приобретение и / или создание сложных программных средств и б) определение адекватных процессов и интеграции новых инструментов с информацией на предприятии системы. Программные средства будут состоять из продуктов бизнес-аналитики нового поколения, которые, мы прогнозируем, будут основаны на сложности технологии, как сложности управления системными рисками.

---

<sup>17</sup> Magrassi P. How Complexity Will Transform Enterprise Information Systems. 2010. arXiv.org, Quantitative Finance > General Finance и Marczyk J. A New Theory of Risk and Rating, Uniservice



В таких областях, как электроника, оптоэлектроника, авионика, химия, биология, экология и эконофизика предоставлено много примеров, когда нелинейные модели системной динамики и моделирования сценариев используются для контроля, управления и эксплуатации сложных систем. Предприятия будут использовать эти "зонды", чтобы исследовать окружающую среду в поиске потенциальных пиков сложности, а также для оценки их собственного уровня сложности, нестабильности и неопределенности. Таким образом, использование и выявление сложности на основе технологий управления рисками предприятий во всех отраслях промышленности открывает огромные возможности для индустрии программного обеспечения. Такие программы как бизнес-аналитика, управление цепочками поставок и др. станут востребованными. Растущие экономические сложности представляют собой стимул для информационно технологической индустрии. Системная трансформация управления рисками и повышение уровня осведомленности о роли сложности будут иметь еще большее значение. Ускоренное сокращение горизонта планирования бизнеса, увеличение финансовой и экономической турбулентности и хаотического поведения может создать ситуацию, когда главной целью бизнеса будет выживание. Поддержание общего риска ниже определенного числового уровня станет настолько полезно и прибыльно, что позволит достичь запланированного финансового показателя доходности организации. (ЕБИТДА)<sup>18</sup>. Если это произойдет, появятся новые методы достижения успеха и большей прибыли для предприятия, а также радикальные изменения претерпят информационные системы. Информационные системы, оптимизированные для роста, как предприятий, так и прибыли, становятся вторичными целями, а значение мастерства управления неопределенностью возрастает и становится ключевым показателем эффективности.

---

<sup>18</sup> ЕБИТДА - аналитический показатель, равный объёму прибыли до вычета расходов по уплате налогов, процентов, и начисленной амортизации